

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Développement d'un simulateur de procédés industriels pour le
programme technologie de l'électronique industrielle

Par
Jean-Bernard Pilon

Essai présenté à la Faculté d'éducation
En vue de l'obtention du grade de
Maître en éducation (M. Éd.)
PERFORMA

Février 2018

© Jean-Bernard Pilon, 2018

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Maîtrise en enseignement au collégial

Développement d'un simulateur de procédés industriels
pour le programme technologie de l'électronique industrielle

Par
Jean-Bernard Pilon

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Anick Montpetit

Directrice de recherche

Daniel Pinsonneault

Membre du jury

Essai accepté le : _____

SOMMAIRE

Au cours de la dernière décennie, au département Technologie de l'électronique industrielle (TEI), nous avons observé quelques lacunes dans les périodes de laboratoire. En effet, parfois, les enseignants doivent créer des équipes de travail comprenant plus de deux étudiantes et étudiants, car la quantité de bancs de test réels d'un même procédé est faible. Le coût élevé des bancs de test réels et l'espace limité en sont les principales raisons. De plus, cette problématique est présente dans plusieurs cours du programme TEI au cégep régional de Lanaudière à Terrebonne (CRLT).

Pour remédier en partie à ce problème, nous avons décidé de profiter de l'avancement des technologies de l'information et de la communication (TIC) en faisant le développement d'un simulateur de procédés industriels (SPI). La diversité possible des procédés industriels, son faible coût et l'attrait des étudiantes et des étudiants pour les outils informatiques en font un choix intéressant. L'objectif général de notre recherche est le développement d'un SPI utilisable dans un cours lié à la programmation d'unités de commande en TEI, répondant aux choix pédagogiques des enseignantes et des enseignants ainsi qu'à des critères basés sur les théories de l'apprentissage.

Notre cadre de référence se base plus particulièrement sur le mode proactif de l'apprentissage tel que décrit par Lebrun (2007b, p. 78) comme étant une façon d'apprendre qui met l'accent sur les compétences « souvent cognitives (et de haut niveau : analyse, synthèse, évaluation, esprit critique) ». L'apprentissage de nouvelles connaissances se fait « au travers l'utilisation de simulation (analyse) et de modélisation (synthèse) » (Ibid., p. 78). Lebrun (2007b) lie ce mode d'apprentissage aux approches cognitiviste et constructiviste de l'apprentissage. Le rôle des enseignantes et des enseignants fait aussi partie du cadre de référence. En effet, dans les activités pédagogiques supportées par le simulateur, l'enseignante ou l'enseignant est un guide. Raymond (2006) précise que dans ce contexte d'apprentissage, elle ou il est principalement une facilitatrice ou un facilitateur.

Le devis de notre recherche est de type qualitatif et le paradigme est interprétatif. Pour l'approche méthodologique, nous avons utilisé le modèle de recherche-développement de Harvey et Loiselle (2009), car il contient toutes les étapes nécessaires au développement d'un nouveau produit. La collecte de données s'est faite sous la forme d'entrevues cliniques de groupe au cours desquelles des expertes et des experts en automatisation devaient essayer le simulateur de procédés industriels. Puis, il s'en suivait une discussion de groupe. Tous les commentaires pertinents ont été notés ou enregistrés. Les expertes et les experts en automatisation pouvaient être des enseignantes actives ou des enseignants actifs au CRLT, des enseignantes retraitées ou des enseignants retraités, des techniciennes ou des techniciens en travaux pratiques et des conseillères ou des conseillers pédagogiques liés à l'électronique industrielle.

Les résultats démontrent que nous avons atteint nos objectifs de recherche. En effet, nous avons produit un SPI pour l'apprentissage de la programmation d'automate répondant aux exigences pédagogiques des enseignantes et des enseignants du département TEI et nous l'avons validé auprès d'expertes et experts en automatisation du programme TEI.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	3
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES ABRÉVIATIONS DES SIGNES ET DES ACRONYMES	11
REMERCIEMENTS.....	12
INTRODUCTION	12
PREMIER CHAPITRE – LA PROBLÉMATIQUE.....	16
1. LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	16
1.1. Les TIC au collégial.....	16
1.2. Des TIC spécialisées en TEI.....	17
1.3. Les bancs de test réels.....	17
1.4. Un simulateur de procédés industriels	20
2. LE PROBLÈME DE RECHERCHE	23
3. L’OBJECTIF GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE	28
DEUXIÈME CHAPITRE – LE CADRE DE RÉFÉRENCE	30
1. PROGRAMMATION D’UNITÉS DE COMMANDE	30
2. LE SPI.....	32
3. LES EXPERTES ET LES EXPERTS EN AUTOMATISATION.....	36
4. LA RECENSION DES ÉCRITS	36
5. LES MODES D’INTERACTIVITÉ.....	37
5.1. Les modes d’interaction :.....	38
5.2. Critères de qualité du mode proactif.....	39
5.3. Le rôle de l’étudiante ou l’étudiant.....	40
5.4. Le rôle de l’enseignante ou de l’enseignant.....	41

5.5.	Fonctionnalités liés aux rôles de l'étudiante ou de l'étudiant et de l'enseignante ou de l'enseignant	42
6.	LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	42
	TROISIÈME CHAPITRE – LA MÉTHODOLOGIE	44
1.	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	44
2.	TYPE D'ESSAI	45
3.	DÉROULEMENT ET ÉCHÉANCIER	45
3.1.	Stratégie de développement d'un produit	45
3.2.	Origine de la recherche	46
3.3.	Référentiel.....	46
3.4.	Méthodologie	46
3.5.	Opérationnalisation et résultats.....	46
3.6.	Calendrier de la recherche	46
4.	CHOIX DES EXPERTES ET DES EXPERTS EN AUTOMATISATION	48
4.1.	Caractéristiques du public ciblé par le produit	48
4.2.	Taille de l'échantillon	49
5.	ASPECTS ÉTHIQUES.....	51
5.1.	Intégrité scientifique	51
5.2.	Préoccupation pour le bien-être	51
5.3.	Vie privée et confidentialité.....	52
5.4.	Autonomie de la personne	52
6.	TECHNIQUES ET INSTRUMENTS DE COLLECTE DE DONNÉES.....	52
7.	MÉTHODE DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNÉES	56
8.	MOYENS PRIS POUR ASSURER LA SCIENTIFICITÉ	58

QUATRIÈME CHAPITRE – LES RÉSULTATS	62
1. DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE INITIAL N°1 DU SPI	61
1.1 Le procédé de fabrique de café	62
1.2 Contrôle de niveau en mode tout ou rien (TOR)	63
1.3 Le procédé MFT	64
1.4 Le procédé du four	64
1.5 Le procédé de lavage de minerai	65
1.6 Le procédé de la station 1 de la ligne Festo	66
1.7 Le procédé des silos de dosage	66
1.8 Le procédé de remplissage de bouteilles	67
1.9 Le procédé de lavage de bacs.....	68
1.10 Le procédé de contrôle de compresseurs à air	68
1.11 La programmation du SPI.....	69
2. ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°1	69
2.1 Démonstration du SPI aux expertes et aux experts en automatisation	69
2.2 Questions sur l’essai du SPI.....	70
2.3 Modifications effectuées sur le SPI résultant de l’entrevue clinique de groupe n°1	80
3. ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°2	83
3.1 Essai du SPI par les expertes et les experts en automatisation	83
3.2 Questions sur l’essai du SPI.....	84
3.3 Modifications effectuées sur le SPI résultant de l’entrevue clinique de groupe n°2	88
CONCLUSION	92
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	97

ANNEXE A - LA COMPÉTENCE PROGRAMMER DES UNITÉS DE COMMANDE	100
ANNEXE B - PLAN-CADRE DU COURS 243-424-TB PROGRAMMATION D'UN AUTOMATE.....	101
ANNEXE C - PLAN-CADRE DU COURS 243-403-TB PROGRAMMATION D'UN RÉGULATEUR INDUSTRIEL	104
ANNEXE D - PLAN-CADRE DU COURS 243-444-TB PROGRAMMATION AVANCÉE D'AUTOMATE.....	106
ANNEXE E - LISTE DES CRITÈRES DE CONCEPTION DU SPI.....	108
ANNEXE F - DÉROULEMENT ET ÉCHÉANCIER	110
ANNEXE G – CANEVAS INVESTIGATIF	110
ANNEXE H - SÉCURITÉ DES DONNÉES SUR LE SITE DE GOOGLE DOC...113	
ANNEXE I – FICHE D'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE NO1.....	114
ANNEXE J – FICHE D'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE NO2	125
ANNEXE K – GRILLE D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION DES DONNÉES PROVENANT DE L'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°1 ET BASÉE SUR LE CANEVAS INVESTIGATIF	136
ANNEXE L – GRILLE D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION DES DONNÉES PROVENANT DE L'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°2 ET BASÉE SUR LE CANEVAS INVESTIGATIF	147

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Liste des critères de sélection départementaux d'un SPI	26
Tableau 2	Liste des objectifs d'apprentissage tirés du cours 243-403TB - Programmation d'un régulateur	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Poste de travail avec un banc de test réel dans un cours de programmation d'un régulateur.....	18
Figure 2 : Poste de travail avec le SPI dans un cours de programmation d'un régulateur.	33
Figure 3 : Exemple d'une représentation graphique d'un procédé simulé.....	35
Figure 4 : Exemple de programmation effectuée par l'étudiante ou l'étudiant	35
Figure 5 : Modèle de recherche-développement	46
Figure 6 : Quatre chaînes évaluatives sur le prototype initial suivies d'une chaîne sur le prototype de contrôle qui résulte des quatre chaînes initiales	53
Figure 7 : Page d'accueil du SPI	53
Figure 8 : Procédé de la fabrique de café	53
Figure 9 : Procédé du contrôle de niveau TOR.....	53
Figure 10 : Procédé MFT	53
Figure 11 : Procédé du four.....	53
Figure 12 : Procédé de lavage de minerai	53
Figure 13 : Procédé de la station 1 de la ligne Festo.....	53
Figure 14 : Procédé des silos de dosage.....	53
Figure 15 : Procédé de remplissage de bouteilles	53
Figure 16 : Procédé de lavage de bacs	53
Figure 17 : Procédé de contrôle de compresseurs d'air	70
Figure 18 : Modifications au procédé de la fabrique de café à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°1	53
Figure 19 : Modifications à la fenêtre principale à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°1	53
Figure 20 : Modifications effectuées sur le procédé de la fabrique de café à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°2	90
Figure 21 : Ajout d'une fenêtre d'aide à la fenêtre principale	90
Figure 22 : Ajout d'une fenêtre d'aide à la fenêtre du procédé.....	91
Figure 23 : Fenêtre avec courbes pour la boucle de température.....	91
Figure 24 : Fenêtre avec courbes pour la boucle de débit.....	92

LISTE DES ABRÉVIATIONS DES SIGNES ET DES ACRONYMES

API	Automate programmable industriel
CRLT	Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne
DEC	Diplôme d'études collégiales
DESS	Diplôme d'études supérieures spécialisées
ETS	École de technologie supérieure
SPI	Simulateur de procédés industriels
TEI	Technologie de l'électronique industrielle
TIC	Technologie de l'information et des communications
TOR	Tout ou rien

REMERCIEMENTS

Je remercie ma directrice d'essai, madame Anick Montpetit, pour ses conseils pertinents, sa patience à relire mes travaux, sa disponibilité ainsi que les discussions fort intéressantes que nous avons eues sur la pédagogie au collégial au cours de ce projet.

Je tiens aussi à remercier les personnes suivantes pour leur support et leur aide. Eugène Racette, le technicien en travaux pratiques du département technologie de l'électronique industrielle (TEI) au cégep régional de Lanaudière à Terrebonne (CRLT), pour sa contribution particulière à l'assemblage des différents prototypes initiaux du SPI et pour son ingéniosité à trouver des solutions innovantes. Les enseignantes et les enseignants du département TEI pour leur appui ainsi que les membres de la direction des études du CRLT qui ont cru en ce nouvel outil pédagogique en l'acceptant comme projet d'innovation.

Je veux également remercier ma sœur Anne-Marie pour la correction de ce travail ainsi que mes enfants Clara et Cécilia et mon épouse Linda, pour leur patience à voir tous ces montages électriques et ces ordinateurs régulièrement sur la table de la cuisine. Enfin, je ne peux passer sous silence cette curiosité que m'ont donnée mes parents Louise et Gilles, qui se transforme en projet de toutes sortes.

INTRODUCTION

L'auteur enseigne au cégep régional de Lanaudière à Terrebonne (CRLT) au département technologie de l'électronique industrielle (TEI). Sa spécialité est l'automatisation de systèmes automatisés industriels. Il a orienté sa carrière en automatisation lors de ses études au collège de Valleyfield en technique de génie mécanique. En effet, c'est à cette époque qu'il a découvert les automates programmables et la robotique. Il a poursuivi ses études en ingénierie dans le domaine de l'automatisation à l'École de technologie supérieure (ETS) et a obtenu son diplôme en génie de la production automatisée en 1992. Il a également obtenu un diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS) en gestion de l'innovation en 2010.

Durant les 18 années qui ont suivi l'obtention de son baccalauréat, il a occupé quatre emplois différents : ingénieur en automatisation dans une usine de fabrication de pièces d'aluminium, ingénieur de service et formateur pour un fabricant de produits d'automatisation, puis ingénieur de projet en automatisation pour un équipementier et, enfin, enseignant en TEI au CRLT depuis l'automne 2010. Il enseigne surtout en deuxième et troisième années dans les domaines de la régulation de procédés industriels, les automates programmables industriels (API) ainsi que la robotique.

Dans un programme TEI, pour contextualiser les apprentissages, le banc de test réel est un outil d'aide à l'apprentissage très utilisé. Il permet à l'étudiante ou l'étudiant d'être active ou actif dans l'acquisition de ses compétences. Mais pour différentes raisons, les institutions sont limitées dans le nombre de bancs de test réels qu'ils peuvent acquérir. Les technologies de l'information et des communications (TIC) sont de plus en plus utilisées comme outils de simulation en TEI. Cette recherche propose le développement d'un simulateur de procédés industriels (SPI) basé sur des TIC. Son but est d'aider les étudiantes et les étudiants à acquérir les connaissances de base en programmation d'automate industriel et ainsi à désengorger les bancs de test réels. Ces derniers seraient utilisés comme outil pédagogique dans une deuxième phase. En effet, les étudiantes et les étudiants, à la suite de quelques

essais fructueux avec le SPI, confirmeraient puis approfondiraient leurs apprentissages sur les bancs de test réels.

Un banc de test réel peut coûter quelques dizaines de milliers de dollars et demande beaucoup d'espace, ce qui limite les institutions dans leurs achats. Alors, les enseignantes et les enseignants doivent souvent former des équipes composées de plus de deux étudiantes et d'étudiants. Nous avons également constaté que, souvent, le nombre excessif d'étudiantes et d'étudiants dans une même équipe nuit à leur cheminement dans l'acquisition de plusieurs connaissances.

Cette recherche présente, dans un premier temps, la problématique. Ce premier chapitre débute avec l'élaboration du contexte de la recherche. Celui-ci comprend les TIC au collégial, les TIC spécialisées en TEI, la description des bancs de test réels ainsi que notre proposition : un SPI. Ensuite, nous détaillons le problème de recherche et, finalement, l'objectif général de recherche est présenté.

Au deuxième chapitre, nous exposons notre cadre de référence. Nous commençons par la définition des concepts importants, dont la compétence programmation d'unités de commande et le SPI. Puis, nous déterminons les caractéristiques des expertes et experts en automatisation. Ces derniers nous ont aidés à valider le SPI. Nous poursuivons avec la recension des écrits, les approches pédagogiques en lien avec le développement d'outils de simulation. Finalement, nous déterminons les objectifs spécifiques de la recherche.

La méthodologie de notre recherche-développement est présentée au troisième chapitre. Nous y précisons l'approche méthodologique, le type d'essai, le déroulement et l'échéancier de la recherche. Nous poursuivons avec le choix des expertes et des experts en automatisation, les aspects éthiques à prendre en considération ainsi que les techniques et les instruments de collecte de données. Les méthodes de traitement et d'analyse des données, suivies des moyens pris pour assurer la scientificité de la recherche, complètent cette partie.

Enfin, on trouve dans le quatrième chapitre, les informations concernant le développement du SPI, les données amassées ainsi que les résultats obtenus. On y décrit, en premier lieu, les différentes simulations développées. En deuxième lieu, nous présentons les données recueillies au cours de deux entrevues cliniques de groupe durant lesquelles des expertes et des experts en automatisation ont fait l'essai du SPI et ont donné leurs commentaires dans une discussion de groupe. Enfin, nous présentons les améliorations apportées aux prototypes initiaux n°1 et n°2 du SPI au fil de l'acquisition et de l'interprétation des données.

En conclusion, nous faisons un retour sur les points importants de cette recherche, sur ses limites et les possibilités de recherches futures en lien avec celle-ci.

PREMIER CHAPITRE

LA PROBLÉMATIQUE

Dans ce premier chapitre, nous détaillons la problématique de notre recherche ayant comme sujet : le développement d'un SPI pour des cours de programmation d'automate industriel.

Nous traitons, en premier lieu, le contexte de la recherche. Pour ce faire, nous expliquons l'importance de l'utilisation des TIC en enseignement, des outils TIC spécialisés à l'électronique industrielle et nous décrivons des bancs de test réels utilisés en TEI ainsi que le banc de test virtuel potentiel, le SPI. Puis, nous détaillons la problématique et plus précisément, le problème de recherche. Nous terminons par l'orientation de la recherche en exposant l'objectif général.

1. LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Cette section est divisée en trois parties. Nous commençons par l'importance des TIC au collégial et leur utilité au département de TEI du CRLT. Nous détaillons ensuite les bancs de test réels qui servent à l'exécution des laboratoires et, enfin, nous terminons par une présentation sommaire d'un SPI.

1.1. Les TIC au collégial

En 2017, la maîtrise des TIC en éducation est devenue essentielle. Cette réalité transparaît dans les documents officiels des institutions d'enseignement. Notamment, le CRLT fait ressortir cet aspect dans son projet éducatif en écrivant qu'il souhaite que l'étudiante et l'étudiant puissent « appliquer les méthodes de travail intellectuel et les technologies de l'information » (Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne, 2016, p. 2).

Le CRLT a également doté chacun de ses programmes d'étude d'un profil TIC. Beauregard et Dru (2016) ont travaillé conjointement sur le profil TIC du programme TEI. Cette liste de compétences est liée aux TIC utilisées spécifiquement dans le programme d'étude de TEI. Ainsi, les compétences faisant partie du profil TIC sont, en principe, acquises au terme des études collégiales. Elles serviront à

l'étudiante et l'étudiant dans la continuation de leurs études ou sur le marché du travail.

1.2. Des TIC spécialisées en TEI

Dans le domaine de l'électronique industrielle, il existe beaucoup d'outils d'aide à l'apprentissage basés sur des TIC. Dans les cours de TEI au CRLT, les enseignantes et les enseignants utilisent des TIC surtout pour les parties plus générales comme la rédaction de rapports, l'animation de cours ou le partage d'informations entre les étudiantes et les étudiants par l'intranet ou Internet. On y retrouve, par exemple, des logiciels de présentation, des outils en ligne ou encore, des capsules vidéo provenant de différents sites spécialisés. Cependant, nous avons peu d'outils TIC orientés vers les activités plus spécialisées des cours. Certaines enseignantes et certains enseignants utilisent des logiciels de simulation, mais ceux-ci sont souvent abstraits, peu visuels et assez éloignés des tâches authentiques que les technologues en électronique industrielle exécutent sur le marché du travail.

1.3. Les bancs de test réels

Au CRLT, lors des manipulations dans les périodes de laboratoire, nous utilisons principalement des bancs de test réels. Un banc de test réel est typiquement constitué de procédés à réguler comme le contrôle d'un niveau d'un réservoir ou la circulation d'un fluide dans des conduits. On y retrouve également des composantes réelles comme une pompe, un transmetteur de débit ou une vanne de régulation. Ceux-ci reproduisent des phénomènes physiques qu'on peut rencontrer dans l'industrie comme des variations de débit ou de pression d'un fluide dans des conduits. La figure 1 montre la structure d'un poste de travail du département de TEI au CRLT. Le banc de test réel C est muni d'instruments qui servent au contrôle de divers procédés. Il permet notamment de faire de la régulation de pression. Ainsi, on y retrouve un capteur et un transmetteur qui transforment la lecture de la pression en signal électrique analogique. De plus, ce banc de test réel comprend différents actionneurs, dont une pompe alimentée par un variateur de vitesse qui permet de faire varier la pression dans un conduit. En tout, les bancs de test réels que nous avons au CRLT comptent chacun six transmetteurs et trois actionneurs. Pour recueillir les

informations des capteurs et des transmetteurs ainsi que pour commander les actionneurs, ceux-ci doivent être branchés au contrôleur B de la figure 1. Enfin, à l'aide de la station de programmation A, l'étudiante ou l'étudiant programme la logique nécessaire au contrôleur pour faire fonctionner le banc de test réel selon les exigences requises.

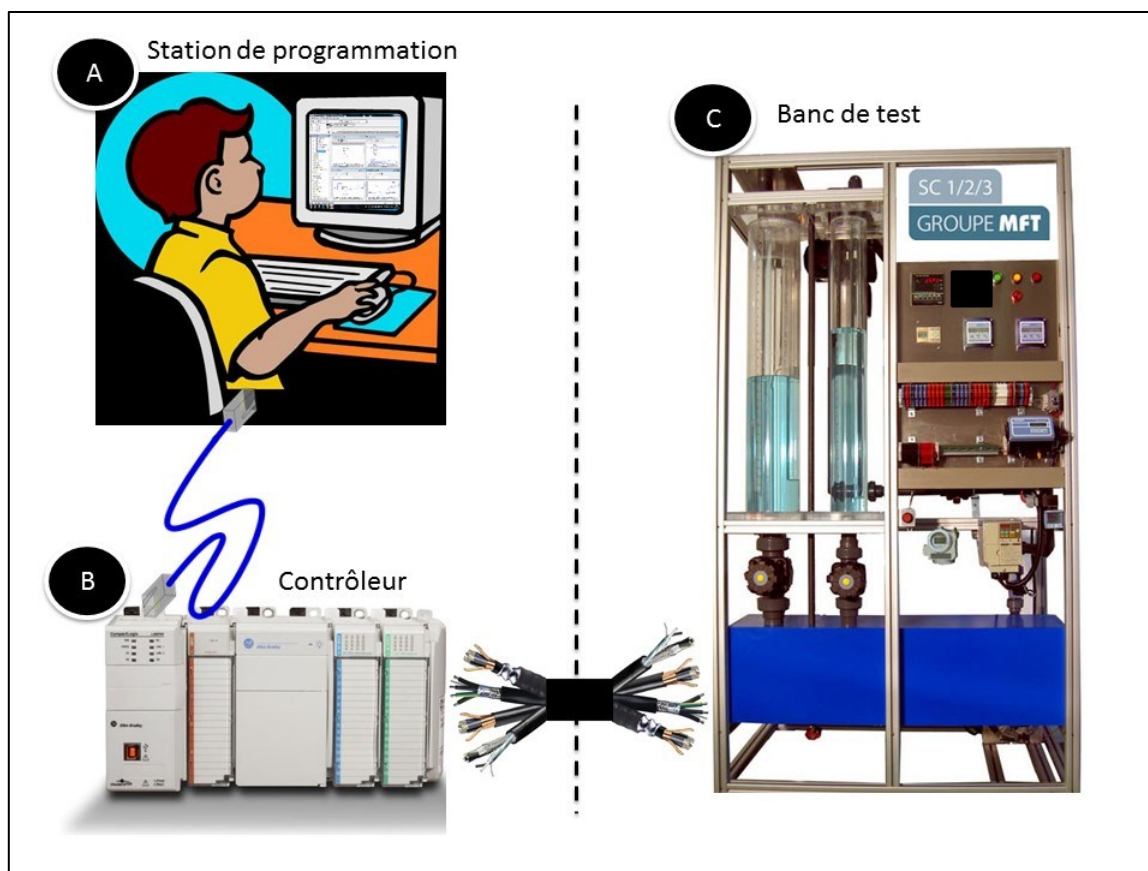


Figure 1 : Poste de travail avec un banc de test réel dans un cours de programmation d'un régulateur CRLT

Au CRLT, nous avons également des lignes de production miniatures qui simulent la fabrication et la manipulation de biens de consommation. Dans le cadre de cette recherche, nous nous limitons à des simulations comme on en retrouve sur des bancs de test réels qui servent à la régulation de procédés industriels.

Ces bancs de test réels sont utilisés dans plusieurs cours en TEI. Les étudiantes et les étudiants sont initiés aux procédés industriels lors de la deuxième

session dans le cours 243-215-TB - Installation d'un système industriel. À la session suivante, les mêmes étudiantes et étudiants assistent à leur premier cours en régulation de procédés qui porte le titre 243-384-TB – Ajustement d'un système de régulation. Dans ce cours, les étudiantes et les étudiants ajustent leurs premières boucles de régulation sur des bancs de test réels.

À la quatrième session, les étudiantes et les étudiants acquièrent des savoirs de plus en plus complexes en suivant les cours de programmation d'automate de base et avancée ainsi qu'en effectuant de la régulation à l'aide d'API dans le cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur. Dans ce cours, les étudiantes et les étudiants utilisent l'automate programmable comme régulateur. Cette composante permet de contrôler plusieurs boucles de régulation à la fois et ceci, à l'aide d'instruments de mesure et divers éléments correcteurs ou actionneurs. Ces derniers viennent agir sur le procédé pour le rectifier. Ces éléments de mesure et ces éléments correcteurs qui font physiquement partie des bancs de test réels sont ajustés et configurés par les étudiantes ou les étudiants.

Enfin, en sixième session, les étudiantes et les étudiants ont un cours de dépannage au cours duquel elles et ils développent des techniques de dépannage liées à des systèmes de régulation. On y approfondit, entre autres, l'utilisation d'un outil de calibration et de mesure afin de vérifier les signaux électriques ainsi que les fonctions de dépannage de logiciels de programmation d'automate. Ici encore, les étudiantes et les étudiants travaillent sur les bancs de test réels.

Ces bancs de test réels ont beaucoup d'avantages. Ils permettent, notamment, aux étudiantes et aux étudiants de mettre en pratique leurs nouvelles connaissances dans un contexte proche de la réalité. Par contre, il y a aussi des désavantages. En effet, ils sont très coûteux à l'achat et en entretien. Par exemple, le prix pour un banc de test réel neuf est de plus de 80 000 dollars. Cet outil pédagogique est également limité dans la variété des instruments. Effectivement, la combinaison de six éléments de mesure et trois actionneurs ne permet qu'un nombre limité de types de boucle de régulation. Enfin, chaque banc de test réel requiert, physiquement, une aire de

plancher d'au moins deux mètres carrés. Toutes ces raisons nous limitent dans la quantité de bancs de test réels que nous pouvons acquérir. Ainsi, actuellement, pour que chaque étudiante ou étudiant ait accès à un banc de test réel, nous devons parfois les regrouper en équipe de cinq ou six. Les enseignantes et les enseignants du département de TEI ont noté un effet négatif au manque de bancs de test réels. En effet, si le nombre d'étudiantes et d'étudiants dépasse deux par équipe il y en a parmi ceux-ci qui arrêtent de suivre le déroulement de l'activité en raison d'un manque d'action ainsi qu'à un accès limité au banc de test réel.

1.4. Un simulateur de procédés industriels

Une des solutions pour améliorer les conditions d'apprentissage des étudiantes et des étudiants est l'acquisition d'un SPI qui peut remplacer, dans certaines parties des laboratoires, le banc de test réel. Ce SPI est un outil TIC spécialisé pour des cours de TEI qui simule des lignes de production automatisée industrielle et des procédés industriels. Cet outil virtuel permet de pallier les problèmes énumérés précédemment. En effet, un SPI comprend un ordinateur et un petit contrôleur. Il demande ainsi moins d'espace qu'un banc de test réel. La mise en place de plusieurs SPI nous permettrait de réduire à deux le nombre d'étudiantes et d'étudiants dans les équipes. Cet avantage est non négligeable. D'autres points positifs nous ont orientés vers cette solution : l'économie monétaire liée à l'entretien des bancs de test réels et la grande variété possible des applications. En effet, comme les procédés virtuels du SPI sont créés par le programmeur, ce dernier a la liberté de développer des applications simples ou complexes et ceci, dans les environnements de son choix. De plus, Lebrun (2007a, p164) écrit que les technologies aident à la contextualisation des notions théoriques, « source importante de motivation pour les apprenants ». Enfin, l'ajout possible d'autres procédés et une utilisation plus efficace de l'espace physique dans les locaux de TEI ont favorisé la sélection d'un SPI.

Le SPI sera utilisé, dans un premier temps, dans les trois cours qui visent l'acquisition de la compétence 043A - Programmation des unités de commande. Cette compétence comprend les éléments de compétence suivants :

1. Établir la communication avec l'unité de commande;
2. Configurer le réseau de champ;
3. Tester le fonctionnement des programmes;
4. Apporter les corrections nécessaires aux programmes.

Les détails de cette compétence sont exposés à l'annexe A. Les étudiantes et les étudiants font l'acquisition de ces éléments de compétence, d'abord dans le cours de base, 243-424-TB – Programmation d'un automate, puis elles et ils les approfondissent dans les cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur et 243-444-TB – Programmation avancée d'un automate. Ces trois cours sont présentement offerts à la quatrième session. Avec la réussite de ces cours, la compétence 043A - Programmation des unités de commande est terminale.

L'automate programmable industriel (API) est l'unité de commande la plus utilisée dans les cours au CRLT. Le site internet de Larousse (2016) définit ainsi l'expression automate programmable : « type de processeur programmable destiné à des applications industrielles ». Nous pouvons ajouter que l'automate est le cœur d'un procédé industriel automatisé. Différents éléments sont branchés à l'automate. Parmi ceux-ci, on retrouve des capteurs et des transmetteurs qui indiquent l'état d'un procédé automatisé ainsi que des actionneurs et des éléments correcteurs qui permettent de le contrôler. Par exemple, dans un procédé de traitement des eaux, des instruments de mesure de débit sont branchés à un automate afin d'avoir l'état du débit d'un fluide. Des éléments correcteurs comme des pompes et des vannes de contrôle viennent agir sur le procédé. Ainsi, selon l'état des instruments de mesure, l'automate active ou non, les moteurs de pompes à eau ou des vannes de produits chimiques afin de traiter l'eau et de l'expédier aux consommateurs. La logique nécessaire au bon fonctionnement du système se trouve dans le processeur de l'automate et est programmée par des étudiantes et des étudiants de TEI.

Au niveau collégial, habituellement, une session compte 15 semaines de cours et une semaine d'examen. Au CRLT, pour une question d'efficacité lors de la préparation et l'utilisation des équipements de laboratoire, les cours de concentration

du programme TEI s'étendent sur huit semaines et le nombre d'heures par semaine est doublé. Par exemple le cours 243-424-TB – Programmation d'un automate est un cours de soixante heures et a une pondération de 2-2-2, c'est-à-dire que chaque semaine, ce cours devrait comprendre deux heures de formation théorique, deux heures de laboratoire et deux heures de travail hors classe. Au CRLT, ce cours est offert de la semaine un à la semaine huit de la quatrième session, c'est-à-dire, huit semaines au lieu de 16 semaines. Ainsi, pour atteindre les soixante heures de cours distribuées sur huit semaines et une période d'examen, celui-ci comprend quatre heures de formation théorique et quatre heures de laboratoire. En plus de ces soixante heures de cours en classe, il faut aussi doubler le nombre d'heures de travail hors classe de deux à quatre. Le cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur qui a une pondération de 1-2-2 et le cours 243-444-TB – Programmation avancée d'un automate qui a une pondération de 2-2-2 sont donnés de la semaine neuf à la semaine 16 et le nombre d'heures est également doublé. Il est aussi important de préciser que le groupe d'étudiantes et d'étudiants d'un cours théorique est séparé en deux lors des séances de laboratoire distinctes. Par exemple, on retrouve deux groupes de laboratoire de 16 étudiantes et étudiants alors que le groupe théorique inclut l'ensemble des 32 étudiantes et étudiants. Nous devons aussi ajouter que les bancs de test réels sont très utilisés dans les cours théoriques afin de contextualiser les apprentissages qui sont souvent abstraits. Ainsi, 32 étudiantes ou étudiants pour six bancs de test réels représentent entre cinq et six étudiantes ou étudiants par équipe de laboratoire.

Le cours 243-424-TB – Programmation d'un automate est la base en programmation d'automate. Dans ce cours, les étudiantes et les étudiants de TEI sont formés sur les rudiments des API. Les contenus essentiels de ce cours sont détaillés dans le plan-cadre montré à l'annexe B. Parmi ceux-ci, on retrouve les langages de programmation tels que le diagramme en échelle ou plus communément appelé *Ladder Diagram* ainsi que *le grafset*. C'est sur ces deux aspects que le SPI peut aider l'enseignante ou l'enseignant. En effet, une grande partie de ce cours sert à initier les étudiantes et les étudiants au logiciel de programmation et surtout au langage de

programmation graphique *diagramme en échelle* ainsi qu'à l'outil de conception d'une séquence de programmation, *les grafjets de niveaux 1 et 2*.

Deux cours de programmation suivent le cours de base. Les plans-cadres des cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur et 243-444-TB – Programmation avancée d'un automate sont présentés aux annexes C et D. Ces deux cours servent à approfondir les connaissances acquises dans le cours de base. Deux autres langages de programmation graphiques et un langage textuel peuvent être enseignés à l'aide du SPI : les langages grafjet, blocs fonctions et le texte structuré. De plus, dans le cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur, les étudiantes et les étudiants doivent déterminer les caractéristiques d'un procédé continu ainsi que les critères de performance recherchés. Ils ajustent également plusieurs paramètres d'un contrôleur comme les modes proportionnel, intégral ou dérivé à l'aide de blocs de programmation. Toutes ces manipulations peuvent être effectuées avec le SPI et ainsi aider à l'acquisition des connaissances nécessaires au contrôle de procédés continus.

La mise en contexte de la recherche, l'utilisation des TIC au collégial et en TEI ainsi que les explications sur les bancs de test réels que nous venons de donner nous permettent de définir le problème de recherche.

2. LE PROBLÈME DE RECHERCHE

Au cours de la phase de la recension des écrits, nous nous sommes aperçus que l'industrie offre plusieurs logiciels de simulation de procédés. Les logiciels *Automation Studio* ou *Factory I-O* sont deux logiciels offerts pour la formation sur l'automatisation, mais aucun document ne les supporte en ce qui concerne de leur capacité d'aider efficacement l'étudiante ou l'étudiant à acquérir les compétences visées. Nous nous sommes également questionnés sur ces logiciels. Ont-ils été conçus pour supporter des activités d'apprentissage basées sur des approches pédagogiques reconnues au collégial? Le résultat n'étant pas concluant, les enseignantes et les enseignants du département de TEI se sont fixé des critères de sélection du matériel et des outils nécessaires au développement du SPI ainsi que pour définir les fonctionnalités essentielles. Voici ces critères :

1. Le SPI doit permettre de diminuer le nombre d'étudiantes et d'étudiants à deux par poste de travail. Par exemple, dans les cours de régulation de procédé, nous devons parfois former des équipes de cinq à six étudiantes ou étudiants, car nous n'avons que six bancs de test réels;
2. Le SPI doit pouvoir remplacer partiellement les bancs de test réels dans des cours de programmation d'automate. L'ensemble des enseignantes et des enseignants est d'accord sur le fait que nous ne pouvons éliminer complètement les bancs de test réels, car ils permettent aux étudiantes et aux étudiants de travailler avec des composantes réelles comme ils en retrouveront sur le marché du travail. Par contre, le nouveau SPI doit pouvoir simuler des procédés complexes comme ceux que l'on retrouve sur les bancs de test réels que nous avons au CRLT;
3. Le SPI doit permettre la simulation de plusieurs procédés diversifiés. Plusieurs logiciels de simulation ont un nombre restreint de procédés qui sont des procédés séquentiels de manipulation de biens de consommation ou des procédés continus de production par lot. Le SPI choisi doit permettre la simulation de ces deux types de procédés;
4. Les procédés simulés doivent être programmables et modifiables par les enseignantes et les enseignants. Les procédés simulés par des logiciels sont souvent non modifiables et ils ne permettent pas, non plus, l'ajout de nouveaux procédés. Le SPI doit permettre la création et la modification de procédés selon les besoins des enseignantes et des enseignants;
5. Le SPI doit permettre de simuler des procédés réels que nous avons au CRLT;
6. Les procédés simulés doivent pouvoir être programmés par des API de marque Omron et Allen-Bradley. Au CRLT, deux marques d'automates sont utilisées par les étudiantes et les étudiants pour programmer la logique nécessaire au bon fonctionnement des bancs de test réels. Les étudiantes et les étudiants doivent donc être en mesure d'utiliser ces deux marques d'automates avec le SPI;

7. Différents signaux électriques sont utilisés sur les bancs de test réels pour recevoir des mesures ou pour actionner des éléments correcteurs. Ces signaux doivent être disponibles sur le SPI. Les étudiantes et les étudiants doivent y avoir accès pour prendre des mesures à l'aide d'outils comme le multimètre ou un système d'acquisition de données;
8. Le SPI doit permettre la simulation d'entrées et de sorties de type numérique qui fonctionnent à une tension électrique de 24 Volts en courant continu (24 Vcc);
9. Le SPI doit permettre la simulation d'entrées et de sorties de type analogique qui fonctionnent par une variation de tension électrique entre zéro à dix Volts en courant continu (0 à 10 Vcc);
10. Le SPI doit permettre la simulation d'entrées et de sorties de type analogique qui fonctionnent par une variation de courant électrique entre quatre et 20 milliampères (4 à 20 mA);
11. La représentation du procédé sur un moniteur graphique doit être de bonne qualité. L'étudiante ou l'étudiant doit pouvoir suivre facilement le fonctionnement du procédé sur un écran graphique à l'aide de dessins clairs et d'animations de qualité;
12. Le SPI doit être conçu dans l'optique de pouvoir être éventuellement utilisé avec internet pour permettre des laboratoires à distance;
13. L'assistance technique des outils utilisés pour développer le SPI doit être localisée dans la région de Montréal afin de faciliter la recherche de problème et les coûts liés à la formation;
14. Les licences des logiciels utilisés pour développer le SPI doivent déjà être la propriété du CRLT. Il faut éviter d'acheter un nouveau logiciel si le CRLT paie déjà pour la licence d'un autre logiciel équivalent;

15. Le matériel utilisé pour la fabrication du SPI doit être comme celui déjà utilisé au CRLT. Il faut éviter d'acheter du nouveau matériel si le département de TEI en possède déjà qui remplit les mêmes fonctions;
16. Le développement du SPI doit permettre à l'enseignante ou l'enseignant l'apprentissage, la mise à jour et l'approfondissement de différents sujets. Parmi ceux-ci, on peut retrouver du nouveau matériel, de nouveaux logiciels ainsi que des connaissances en lien avec l'industrie et de nouveaux outils pédagogiques.

Les logiciels du commerce trouvés durant la recension des écrits ne satisfont pas tous les critères de sélection précédents. En effet, le tableau 1 montre les différentes solutions que nous avons analysées ainsi que les critères d'analyse proposés par le département de TEI.

Tableau 1
Liste des critères de sélection départementaux d'un SPI

Critères de sélection de la solution de simulation/Solutions possibles

	Critères de sélection départementaux d'un SPI	Automation studio	Labview	Wonderware/Rockwell	Expertune (Metso)	Factory I-O
1	Permet de diminuer le nombre d'étudiants par poste de travail	x	x	x	x	x
2	Permet de remplacer partiellement les bancs de test réel		x	x	x	x
3	Simule plusieurs procédés;	x	x	x	x	
4	Programmable et modifiable par les enseignants;			x		x
5	Simule des procédés que nous avons au cégep	x		x		
6	Peut être utilisé avec les automates AB et Omron que le Dept de TEI a déjà;			x		x
7	Simule des entrées et des sorties 24Vcc, 0-10V et 4-20mA;			x		x
8	Affiche l'état du procédé graphiquement et en temps réel;			x		x
9	Programmable et visualisable par internet;	x	x	x	x	x
10	Support technique et formation local	x	x	x		
11	Permet d'utiliser des logiciels déjà achetés par le cégep	x		x		
12	Permet d'utiliser du matériel que nous avons déjà au cégep			x		
13	Permet à l'enseignant de se mettre à jour sur des logiciels utilisés dans l'industrie	x		x		

É. Dru, P. Filion, R. Mallette, J.-B. Pilon, L. Poulin, Réunion de département, Technologie de l'électronique industrielle, 10 novembre 2016, CRLT.

Nous pouvons conclure que la combinaison du logiciel *Wonderware* et du contrôleur de marque *Allen-Bradley* de la compagnie *Rockwell* satisfait le plus de critères départementaux. Le logiciel *Wonderware* sera utilisé pour la représentation et l'animation graphiques des procédés. Le contrôleur *Allen-Bradley* servira, quant à lui,

pour la programmation de la logique des procédés et pour la connexion des signaux électriques avec les éléments de contrôle externes au SPI.

Avec le remplacement partiel des bancs de test réels par des SPI, la quantité d'ordinateurs est à réévaluer. En effet, à terme, nous aurons besoin de 16 postes de travail équipés d'un SPI. Le CRLT devra donc se procurer 16 nouveaux ordinateurs utilisés exclusivement à montrer les procédés. Il doit également prévoir l'installation et l'entretien des logiciels *Intouch* de la compagnie *Wonderware* et *RSLogix 5000* de la compagnie *Rockwell Automation* qui sont essentiels au bon fonctionnement du SPI.

Lebrun (2007a, p. 57) note que « le logiciel de simulation joue un rôle de pont entre la pratique et les théories de la discipline concernée [...] il rend la théorie manipulable [...] et permet de voir l'impact sur le réel modélisé ». Mais comment nous assurer que le développement d'un nouvel outil TIC s'effectue sur des bases pédagogiques reconnues au collégial? Barrette (2014, p. 5) écrit ceci à ce sujet :

Il ne suffit pas d'ajouter des TIC ici et là pour que le résultat soit un enseignement ou un apprentissage amélioré. Il est même possible de mal faire les choses et d'engendrer soit un effet mitigé, soit un effet négatif. Des conditions sont requises pour que l'addition de TIC au répertoire des médias et des méthodes apporte un *bonus* aux actes d'enseigner et d'apprendre.

Alors, comment pouvons-nous nous assurer que les stratégies pédagogiques prévues, composées d'activités d'apprentissage, feront une utilisation efficace du SPI tout en répondant aux objectifs et aux compétences du cours? Il y a plusieurs réponses à cette question. L'une d'elles est de concevoir le SPI à partir de bases qui sont définies en lien avec les théories de l'apprentissage utilisées au niveau collégial.

Voici une des expériences vécues avec des TIC par Lauzier (2006, p. 21) : « Notre expérience montre que dans les laboratoires, les étudiants ne sont pas nécessairement appelés à solutionner des problèmes, à adopter une approche d'expérimentation active et surtout à utiliser efficacement les nouvelles technologies de l'information ». Sur le site internet du département de philosophie du cégep de Trois-Rivières, Viau (2016) précise également que :

Ce qui est important à comprendre, c'est que, pour que les élèves soient motivés à apprendre à l'aide des TIC, il existe des conditions d'ordre pédagogique à remplir qui ne dépendent pas directement des TIC. Offrir à l'élève une activité qui est signifiante à ses yeux, lui accorder le temps nécessaire pour l'accomplir et lui proposer un défi à relever font partie des conditions pédagogiques à respecter si l'on désire susciter sa motivation à apprendre, et ce, que l'activité d'apprentissage se déroule dans un environnement traditionnel ou informatisé.

En effet, le développement d'activités pédagogiques ayant des significations pour l'étudiante ou l'étudiant est très essentiel dans le processus de préparation d'un cours. De plus, il est important de noter que cette recherche porte essentiellement sur le développement d'un SPI. Le développement d'activités liées au SPI pourrait faire l'objet d'une recherche future.

La problématique et son contexte viennent d'être détaillés. Ils nous ont permis de préciser et cerner le problème de recherche. Nous poursuivons avec la présentation de l'objectif général de la recherche.

3. L'OBJECTIF GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE

En résumé, le département de TEI du CRLT désire faire l'acquisition d'un SPI afin de pallier différents problèmes en matière de coût élevé et de la disponibilité liée aux bancs de test réels. Différentes solutions ont été analysées et nous avons conclu que nous avons avantage à développer notre SPI. Un de ces avantages est que nous pouvons concevoir un SPI pour qu'il puisse aider l'enseignante ou l'enseignant dans son développement d'activités pédagogiques dans des cours de programmation d'unités de commande. Les critères de sélection du matériel ont été déterminés par les enseignantes et les enseignants du département de TEI.

Notre questionnement a débuté lorsque nous avons voulu déterminer les critères de conception du SPI à partir des approches pédagogiques utilisées au niveau collégial. L'objectif général de notre recherche vise donc le développement d'un SPI utilisable dans un cours lié à la programmation d'unités de commande en TEI, répondant aux choix pédagogiques des enseignantes et des enseignants.

La présentation de la problématique de la recherche nous a permis de situer notre recherche. En effet, nous venons de présenter le contexte de réalisation et le problème de recherche. L'objectif général de cette recherche a également été formulé. Dans le prochain chapitre, nous élaborons son cadre de référence qui nous permettra de définir son point de départ.

DEUXIÈME CHAPITRE

LE CADRE DE RÉFÉRENCE

Dans ce deuxième chapitre, nous traitons des modes d'interactivités présentes dans des situations d'apprentissage basées sur les approches pédagogiques utilisées au collégial. Ensuite, nous détaillons le matériel qui nous servira à développer le SPI, ainsi que des conditions d'implantation des technologies. Nous souhaitons d'abord définir les concepts principaux qui nous guident dans cette recherche : programmation d'unités de commande, SPI ainsi qu'expertes et experts en automatisation. Notre recherche porte sur le développement d'un SPI pour les cours de programmation d'automate programmable industriel (API) du programme TEI au CRLT.

1. PROGRAMMATION D'UNITÉS DE COMMANDE

Le site internet de l'Office québécois de la langue française (2016) indique que le terme unité de commande est un synonyme de dispositif de commande. Il donne les informations suivantes :

En robotique, on trouve souvent le terme armoire de commande, qui désigne un dispositif de traitement de l'information dont les entrées sont des informations concernant soit une vitesse de positionnement à la fois voulue et mesurée ou toute autre variable pertinente intervenant dans un processus et dont les sorties sont des signaux de commande envoyés aux actionneurs.

Nous pouvons faire des liens directs entre la citation précédente et des activités exécutées par les étudiantes et les étudiants de TEI au cours de leur DEC. En effet, elles et ils doivent brancher les entrées et les sorties à l'API qui est situé dans l'armoire de commande. L'API contient aussi un dispositif de traitement de l'information que les étudiantes et les étudiants doivent programmer. Plus précisément, parmi les tâches que peuvent accomplir les technologues sur le marché du travail, on retrouve la mise en route et le dépannage de systèmes automatisés. Pour ce faire, les technologues doivent apprendre à utiliser les logiciels qui leur permettent de programmer des unités de commande. Le programme d'étude de TEI comporte 19 compétences. Le SPI développé dans le cadre de la présente recherche servira, en

premier lieu, à supporter les étudiantes et les étudiants dans l'acquisition de la compétence 043A – Programmer des unités de commande.

Comme nous avons déjà mentionné au premier chapitre, cette compétence est développée tout au long de ces trois cours : 243-424-TB – Programmation d'un automate, 243-403-TB – Programmation d'un régulateur et 243-444-TB – Programmation avancée d'un automate. Afin de limiter l'envergure de notre recherche, nous allons utiliser les objectifs d'apprentissage du cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur. Ces objectifs d'apprentissage, énumérés dans le tableau ci-dessous, sont tirés du plan-cadre du cours montré à l'annexe C. Ils nous ont servi à développer les fonctionnalités du SPI ainsi qu'à développer les outils avec lesquels nous avons recueilli et analysé les données pour valider son efficacité comme support à l'apprentissage.

Tableau 2
Liste des objectifs d'apprentissage tirés du cours 243-403TB – Programmation d'un régulateur

Éléments de compétence	Objectifs d'apprentissage
Établir la communication avec l'unité de commande.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique. • Choisir des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'élément de régulation. • Brancher l'élément de régulation à l'ordinateur. • Utiliser des logiciels de programmation et de configuration. • Configurer les modules de l'unité de commande.
Configurer le réseau de champ.	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser les besoins de communication. • Interpréter de la documentation technique. • Consulter des personnes-ressources. • Analyser la topologie des réseaux de champ. • Déterminer des protocoles de communication. • Configurer des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. • Utiliser des utilitaires de configuration. • Vérifier le fonctionnement des éléments du réseau de champ.
Tester le fonctionnement des programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Transférer des programmes et des données. • Déterminer des variables numériques et analogiques à tester. • Choisir et utiliser des utilitaires de diagnostic.

	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter des graphes, des schémas fonctionnels et d'autres modes de représentation des programmes dans un contexte de régulation. • Interpréter des langages de programmation adaptés aux éléments de régulation. • Interpréter des stratégies de contrôle-commande. • Analyser le déroulement des programmes dans un contexte de régulation. • Déterminer des problèmes de fonctionnement. • Appliquer des règles de santé et de sécurité au travail.
Apporter les corrections nécessaires aux programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique et des ouvrages de référence. • Déterminer des modifications à apporter aux programmes, aux données et aux correcteurs PID. • Choisir et utiliser des modes de fonctionnement de l'unité de commande. • Utiliser des langages de programmation. • Programmer des éléments de régulation. • Vérifier le fonctionnement du programme. • Sauvegarder des données et des programmes.

Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne. (2014). *Technologie de l'électronique industrielle 243.C0 PROJET DE FORMATION*. Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne. Québec.

2. LE SPI

Le SPI est un outil de simulation composé de procédés virtuels et d'un contrôleur qui permet une interaction avec le monde réel. Il permet de reproduire virtuellement des procédés industriels pour qu'ils soient programmés et testés par les étudiantes et les étudiants de TEI.

La figure 2 montre la structure d'un poste de travail comprenant un SPI. Les composantes A et B sont les mêmes que celles incluses dans un poste de travail avec un banc de test réel et que nous pouvons voir à la figure 1. Ainsi, le banc de test réel est remplacé par les composantes C, le contrôleur n°2 de la compagnie *Rockwell* et D, un ordinateur équipé du logiciel *Wonderware* qui permet la représentation graphique et l'animation du procédé.

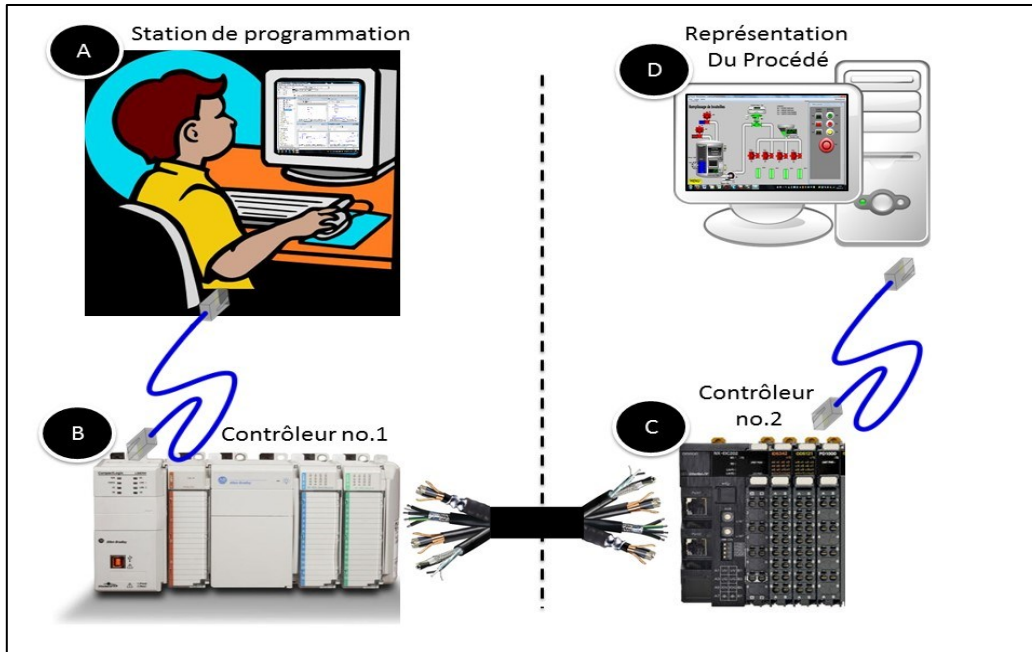


Figure 2 - Poste de travail avec le SPI dans un cours de programmation d'un régulateur.
CRLT

Le contrôleur n°2 a trois fonctions principales : il reçoit les signaux électriques des commandes en provenance du contrôleur n°1, il traite la commande en simulant la variation du procédé et il retourne des signaux électriques vers le contrôleur n°1 pour montrer le changement de l'état du procédé.

Basé sur les figures 3 et 4, voici un exemple de séquence de fonctionnement d'un poste de travail muni d'un SPI :

1. De la station de programmation, l'étudiante ou l'étudiant programme, dans le contrôleur n°1, la logique pour générer une commande dans le but de faire fonctionner la pompe SD8 au maximum de sa capacité;
2. La commande est envoyée au contrôleur n°2 par un signal électrique de 24 Vcc;
3. Lorsque la pompe SD8 démarre, la logique dans le contrôleur n°2 simule les effets suivants du procédé qui peuvent être vus sur un moniteur graphique qui montre le procédé de la figure 4 :

- A. L'arrivée de liquide dans le réservoir occasionne une augmentation du niveau, c'est-à-dire que le contrôleur n°2 incrémente une valeur qui simule la montée du liquide ;
 - B. Lorsque la valeur du niveau dépasse un seuil minimal, le détecteur de niveau bas s'active sur l'écran graphique pour simuler qu'il détecte un liquide. Un signal électrique 24 Vcc est, en même temps, envoyé au contrôleur n°1 pour indiquer l'état du détecteur de niveau bas;
 - C. Lorsque la valeur du niveau dépasse le seuil de haut niveau, le détecteur de haut niveau s'active et un signal 24 Vcc est envoyé au contrôleur n°1 pour indiquer son changement d'état;
 - D. Lorsque la valeur du niveau dépasse le seuil de très haut niveau, le détecteur de très haut niveau s'active et un signal 24 Vcc est envoyé au contrôleur n°1 pour indiquer son changement d'état;
4. L'étudiante ou l'étudiant peut visualiser sur son ordinateur, la logique de programmation et les signaux qui ont changé sur le procédé comme nous pouvons voir à la figure 4.

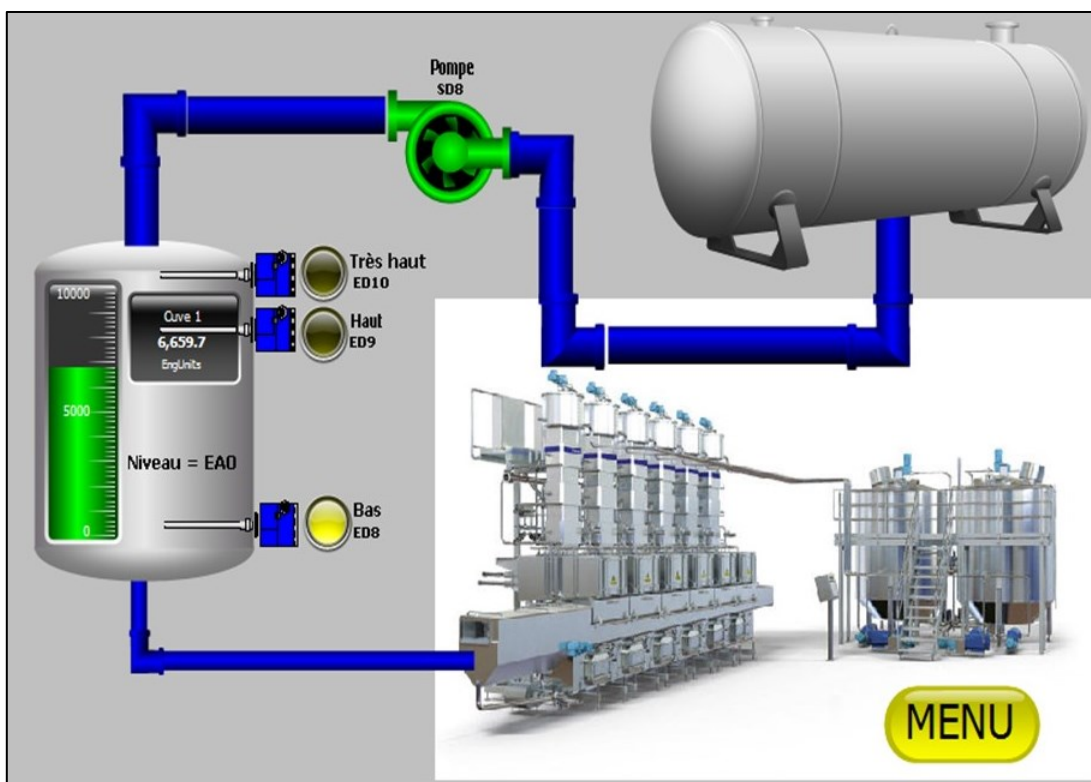


Figure 3 : Exemple d'une représentation graphique d'un procédé simulé.
CRLT

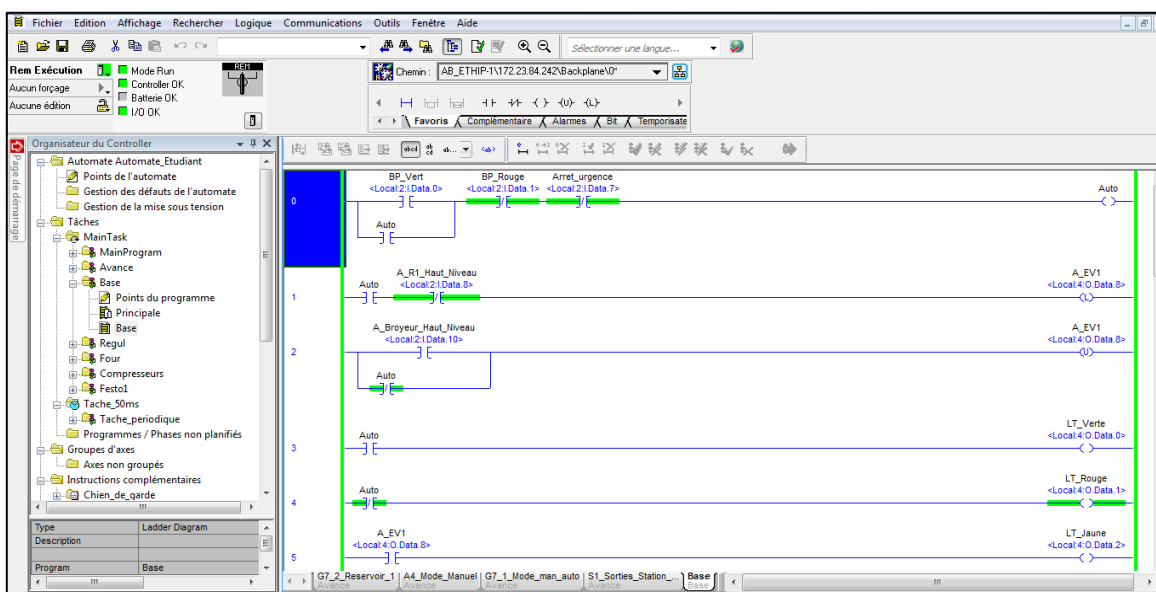


Figure 4 : Exemple de programmation effectué par l'étudiante ou l'étudiant
CRLT

Le SPI a la possibilité de simuler plusieurs types de boucle de régulation comme le contrôle de température, de pression ou de débit, pour n'en nommer que

quelques-unes. Différents contextes tels que la pression dans des conduits, la pression dans le remplissage de bouteilles, etc. peuvent également être reproduits. La qualité graphique du logiciel est visuellement proche de la réalité, c'est-à-dire que les étudiantes et les étudiants peuvent voir différentes images et animations graphiques qui ressemblent à des procédés industriels. Enfin, grâce au contrôleur qui sert d'interface avec le monde réel, les étudiantes et les étudiants peuvent prendre des mesures à l'aide de multimètres et des outils de calibration comme ils le feraient avec un banc de test réel.

Plusieurs phénomènes physiques sont simulés dans le SPI. Parmi ceux-ci, on retrouve la variation de la pression dans le fond d'un réservoir selon le niveau du liquide. Il y a aussi la variation de la pression et du débit dans des conduits selon la vitesse d'une pompe ou l'ouverture d'une vanne de régulation. L'ouvrage de Beaudry et Rolland (2005) ainsi que les manuels techniques qui accompagnent les équipements des bancs de test réels nous serviront de documents de référence techniques lors de l'élaboration du SPI.

3. LES EXPERTES ET LES EXPERTS EN AUTOMATISATION

Dans la partie évaluative de cette de recherche, des activités de collecte de données ont été effectuées auprès d'expertes et d'experts en automatisation. Les buts étaient de leur faire valider le SPI, de recueillir leurs commentaires et effectuer les améliorations nécessaires. Les critères de sélection des expertes et experts en automatisation sont établis dans le prochain chapitre dédié à la méthodologie.

4. LA RECENSION DES ÉCRITS

Au cours de la recension des écrits, nous n'avons pas trouvé de documents traitant d'outils TIC de simulation de procédés industriels pour de la programmation d'automate. Par contre, il existe un nombre appréciable de documents sur l'utilisation efficace des TIC en éducation ainsi que sur la conception d'outils pédagogiques. Certains de ces documents démontrent que des outils TIC bien sélectionnés et bien utilisés aident à la motivation des étudiantes et des étudiants. Dans son « [...] voyage au pays des TIC » (Barrette, 2011, p. 1), Barrette (2011, p. 5) énumère trois « effets

positifs d'une intégration efficace des TIC [...] une amélioration des résultats scolaires, une manifestation accrue d'opérations cognitives complexes, comme la métacognition, le transfert et la généralisation et des signes de motivation et d'intérêt accrus chez les étudiants ».

Dans le domaine de l'éducation, si les TIC sont utilisées adéquatement, Lebrun (2007a, p.62) donne les gains suivants :

Pour l'étudiant:

- Un renforcement de la coopération et de l'interaction [...];
- [...] un souci de profondeur, d'amélioration bien au-delà de la simple répétition ou mémorisation des lois, théories [...];
- Une participation accrue de tous les étudiants [...];
- Un développement du sens de la recherche, de l'expérimentation, de la mise en doute [...].

Pour l'enseignant :

- Des changements de comportement sont progressivement observés : dans les nécessaires parties magistrales, ce sont davantage les parties conceptuelles, la construction des modèles, l'ouverture de portes ... qui sont développées; l'enseignant évite progressivement de donner, avant que les questions ne se posent, les réponses, ses réponses.
- L'enseignant interagit avec un nombre plus limité d'étudiants; il va vers eux pour les aider à répondre à leurs questions. Il n'apporte pas la même information à tout le monde, mais répond aux besoins des apprenants.
- Les modes d'évaluation évoluent aussi : on remarque davantage la présence d'évaluations formatives basées sur les productions et les évolutions des élèves que d'évaluation terminale basée sur les questions de l'enseignant.

À la lumière de ces informations, nous pouvons affirmer qu'un SPI développé sur des bases solides et utilisé dans de bonnes conditions permet de réaliser des gains appréciables autant de la part des enseignantes et des enseignants que de la part des étudiantes ou des étudiants.

5. LES MODES D'INTERACTIVITÉ

Il est important de prévoir l'aspect intégration du SPI dès la phase de conception. Lebrun (2007b, p.72) indique qu' « [...] une utilisation réfléchie et

efficace des outils technologiques demande que ces outils soient intégrés dans des méthodes pédagogiques actives et innovantes [...] ». Pour ce faire, nous avons précisé le mode d'interaction dominant entre l'étudiante ou l'étudiant et le SPI.

5.1. Les modes d'interaction :

Lebrun (2007b) propose trois modes d'interaction qui sont présents dans les activités d'apprentissage : le mode réactif, le mode proactif et le mode interactif.

5.1.1. Le mode réactif :

Ce mode met l'accent sur le transfert des connaissances de l'enseignante ou l'enseignant vers l'étudiante ou l'étudiant. Lebrun (2007b, p.78) écrit que « [...] c'est celui qui détient le savoir qui pose les questions (enseignants ou logiciel répétiteur); l'apprenant répond aux sollicitations de son environnement ». Lebrun (2007b) donne quelques exemples d'outils liés à ce mode, notamment les tutoriels et les sites Web. Enfin, il précise que le mode réactif et le courant empiriste qui inclut le behavioriste ont des liens très étroits.

5.1.2. Le mode proactif :

Selon Lebrun (2007b, p. 78), ce mode met l'accent sur les compétences « souvent cognitives (et de haut niveau : analyse, synthèse, évaluation, esprit critique) ». Les outils pédagogiques aident les étudiantes et les étudiants à acquérir les connaissances « au travers l'utilisation de simulation (analyse) et de modélisation (synthèse) » (Ibid., p.78). Des exemples d'outils TIC en lien avec ce mode d'interactivité sont les logiciels de programmation, de bureautique, les logiciels de simulation et de modélisation, quelques cédéroms et sites Web. Lebrun (2007b, p. 78) indique que « Dans ce mode, c'est en principe celui qui apprend, l'utilisateur, qui pose des questions aux systèmes environnants [...], qui se pose des questions, qui imagine des hypothèses ». Enfin, il ajoute que le courant rationaliste est très proche du mode proactif. Lebrun (2007b) inclut l'approche cognitive et l'approche constructiviste de l'apprentissage dans ce courant.

5.1.3. Le mode interactif :

Le troisième mode proposé par Lebrun (2007b, p. 80) est le mode interactif. Ce mode d'apprentissage met « l'emphasis sur la relation entre l'enseignant et l'apprenant (ils échangent à propos du savoir) ». Lebrun (2007b, p.78) donne différents exemples d'activités liées à ce mode tels que :

[...] interaction avec des partenaires virtuels, [...] l'interaction entre partenaires à distance (mail, news, listes de diffusion ou de discussion et leurs usages pédagogiques) ou encore [...] interaction avec des partenaires locaux ([...], on trouve des solutions autour d'un cas, d'un outil technologique, d'un média) [...]

Il écrit également que ce mode est associé au courant interactionniste dans lequel nous retrouvons l'approche socioconstructiviste de l'apprentissage.

5.2. Critères de qualité du mode proactif

Lebrun (2007b) précise donc qu'un logiciel de simulation est habituellement utilisé dans un mode proactif. Dans notre recherche, le SPI et les documents pédagogiques associés aident l'étudiante ou l'étudiant à cheminer au travers de l'activité pédagogique. Ceci leur permet de reconstruire les savoirs rendus disponibles par le SPI. Nous nous baserons donc sur le mode proactif pour la production du SPI. Voici les critères de qualité du mode proactif proposés par Lebrun (2007a, p.125) :

- Lisibilité des écrans;
- Densité de l'information;
- Utilisation harmonieuse des polices de caractères;
- La malléabilité de l'environnement;
- Une trace du travail;
- Facilité à piloter le logiciel;
- Le rôle des menus et des boutons;
- La rétroaction pour l'apprenant :
 - Se manifeste par une représentation dynamique et visuelle du résultat;
 - La qualité, la pertinence, la facilité de décodage de la représentation de ce résultat sont ici très importantes;
 - Les conditions, limites, critères, consignes correspondent-ils au résultat proposé par l'ordinateur ?

- Ces logiciels peuvent être accompagnés de questionnaires interactifs, de jeux... Des éléments favorables à la motivation et à son maintien.

Lebrun (2007a, p.125) ajoute que :

Un logiciel de simulation peut faire des miracles dans un dispositif pédagogique et être d'un faible intérêt dans un autre : il est important bien souvent que de tels outils soient accompagnés d'une notice, d'un livre du maître ou de l'élève donnant des idées quant à l'utilisation de ces derniers dans une séquence d'apprentissage.

Il est donc impératif que les activités qui sont supportées par le SPI aient des documents clairs qui donnent toutes les informations nécessaires au bon cheminement de l'étudiante ou de l'étudiant. Dans le cadre de cette recherche, ces documents, essentiels lors de la collecte de données, ont été produits par le chercheur et ils ont été validés par des expertes enseignantes ou des experts enseignants.

Afin de mieux orienter l'élaboration du SPI, nous avons défini les rôles exercés par l'enseignante ou l'enseignant ainsi que par l'étudiante ou l'étudiant dans les activités pédagogiques qui l'utilise.

5.3. Le rôle de l'étudiante ou de l'étudiant

Dans une activité supportée par le SPI, l'étudiante ou l'étudiant est principalement proactive ou proactif. En effet, dans la partie principale qui est l'application, celle-ci ou celui-ci est active ou actif. Par exemple, en réfléchissant aux objectifs fixés par l'enseignante ou l'enseignant, elle ou il découvre par elle-même ou lui-même l'importance des étapes-clés de l'implantation d'un système de régulation automatisé en mode proportionnel ainsi que les façons de faire essentielles. Dans cet exemple d'activité pédagogique, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir des connaissances de base en régulation. Elle ou il doit faire des liens entre ses connaissances antérieures et leur utilisation en programmation d'automate. Elle ou il analyse le procédé à réguler, l'utilisation des blocs de programmation et les résultats obtenus. Elle ou il est critique dans son cheminement.

Par exemple, l'utilisation du SPI permet aux étudiantes et aux étudiants d'appliquer les procédures de programmation d'un régulateur en mode proportionnel dans un contexte proche de la réalité.

Enfin, à partir de ces informations, nous pouvons ajouter deux autres critères de conception du SPI : il doit aider l'étudiante ou l'étudiant à faire appel à ses connaissances antérieures et le contexte de l'activité doit être proche de la réalité.

5.4. Le rôle de l'enseignante ou de l'enseignant

Dans les activités pédagogiques supportées par le SPI, l'enseignante ou l'enseignant est principalement une accompagnatrice ou un accompagnateur dans le cheminement de l'étudiante ou de l'étudiant. Elle ou il a préparé une activité qui comprend une série de tâches qui ont pour but de faire avancer l'étudiante ou l'étudiant vers un objectif ultime. L'enseignante ou l'enseignant agit aussi comme un guide envers les étudiantes et les étudiants. Elle ou il offre une rétroaction individuelle aux étudiantes et aux étudiants et elle ou il effectue des évaluations formatives en posant des questions aux différentes équipes sur les notions et les étapes importantes. Par exemple, dans une activité dont le sujet est la régulation de procédé, selon les besoins ponctuels des équipes, l'enseignante ou l'enseignant peut mettre l'accent sur l'erreur statique ou le calcul de la commande. Pour une autre équipe, elle ou il peut les aider sur la mise à l'échelle de grandeurs ou sur des méthodes de réglage.

Raymond (2006, p. 101) écrit que « Chaque fois que c'est la représentation, l'action ou l'intention du professeur qui s'exerce et qui occupe la place centrale dans sa pratique [...], c'est le rôle de didacticienne ou didacticien qui prédomine ». En effet, dans les activités liées au SPI, l'enseignante ou l'enseignant peut revoir quelques notions théoriques pour la programmation d'une boucle de régulation en mode proportionnel. Elle ou il peut aussi expliquer le procédé à contrôler à l'aide du SPI. Mais c'est surtout le rôle de facilitatrice ou de facilitateur que l'enseignante ou l'enseignant doit tenir dans les activités avec le SPI. En lien avec ce rôle, Raymond (2006, p. 103) note que « Par son côté entraîneur, elle ou il place constamment l'élève

en situation de problèmes, dans des tâches significatives, réelles, complexes, complètes et globales ». Ceci décrit très bien la fonction que joue l'enseignante ou l'enseignant dans l'activité, c'est-à-dire, une médiatrice ou un médiateur qui aide les étudiantes et les étudiants à réfléchir durant leur processus d'apprentissage afin de leur permettre d'activer leur mémoire à court terme et à créer de bons liens avec la mémoire à long terme. Un critère peut être ajouté à notre liste pour le développement du SPI : créer un environnement qui permet à l'étudiante ou l'étudiant d'effectuer des tâches significatives, complexes, complètes et globales.

5.5. Fonctionnalités liées aux rôles de l'étudiante ou de l'étudiant et de l'enseignante ou de l'enseignant

Les fonctionnalités prévues dans le SPI basées sur le rôle proactif des étudiantes et des étudiants ainsi que sur le rôle de facilitatrice ou facilitateur de l'enseignante ou de l'enseignant sont énumérées dans le tableau 3 de l'annexe E.

Dans ce deuxième chapitre, nous avons précisé les concepts importants de la recherche : programmation d'unité de commande, le SPI ainsi que les expertes et experts en automatisation. Ensuite, nous avons décrit la recension des écrits que nous avons effectuée et nous avons terminé en analysant les modes d'interactivités possibles avec des outils pédagogiques basés sur des TIC. Ceci nous a permis de définir les objectifs spécifiques.

6. LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Ces informations sur le cadre de référence de la recherche nous amènent à la formulation des objectifs spécifiques suivants :

1. Produire un SPI pour l'apprentissage de la programmation d'automate répondant aux exigences pédagogiques des enseignantes et des enseignants du département TEI;
2. Valider le SPI auprès d'expertes et d'experts en automatisation du programme TEI.

Le prochain chapitre traite de la méthodologie que nous allons utiliser pour effectuer la collecte de données ainsi que pour analyser les résultats.

TROISIÈME CHAPITRE

LA MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, nous présentons la méthodologie de notre recherche-développement. Nous y précisons l'approche méthodologique, le type d'essai, le déroulement et l'échéancier. Nous poursuivons avec le choix des participantes et des participants qui agiront en tant qu'expertes et experts en automatisation. Puis, suivent les aspects éthiques, les techniques et les instruments de collecte de données. Nous terminons avec les méthodes de traitement et d'analyse des données ainsi que les moyens pris pour assurer la scientificité de la recherche.

1. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Le devis de notre recherche est de type qualitatif. En effet, il présente les caractéristiques listées par Fortin (2010, p. 270) : « la flexibilité et le dynamisme dans l'étude des phénomènes; l'utilisation de plusieurs méthodes interactives dans la collecte de données, l'implication du chercheur dans le partage de l'expérience décrite par les participants ».

Le paradigme de notre recherche est interprétatif. Notre recherche rencontre les traits dominants liés à ce paradigme décrit par Fortin (2010). Par exemple, l'auteure écrit que, dans le paradigme interprétatif, l'étude des actions humaines se fait « dans l'environnement où se passe l'action » (*Ibid.*, p. 26). La collecte de données de notre recherche s'est effectuée dans une mise en situation au cours de laquelle, les expertes et les experts en automatisation, représentant la population cible, ont exécuté différentes tâches avec le SPI dans leur environnement de travail. Fortin (2010, p. 26) ajoute que le paradigme interprétatif suppose du chercheur une « implication personnelle avec les participants et le milieu ». Cet aspect est non négligeable, car, lors des entrevues cliniques de groupe, nous avons eu à préparer l'environnement dans lequel elles se sont effectuées. De plus, nous nous sommes impliqués directement dans la collecte de données en posant les questions aux expertes et aux experts en automatisation et en orientant les discussions vers les objectifs de la recherche.

2. TYPE D'ESSAI

Le programme Performa de l'Université de Sherbrooke (2015) propose 19 types d'essais. Pour notre recherche, nous avons retenu celui concernant la production et la validation de matériel pédagogique. Ce type d'essai fait partie du pôle innovation. La mise au point de matériel pédagogique est aussi considérée par plusieurs auteurs, dont Harvey et Loïselle (2007, p. 44), comme étant de la recherche-développement puisqu'elle : « englobe le développement d'objets matériels (matériel pédagogique, guides) et les prescriptions guidant l'action (procédés, stratégies, méthodes, modèle) ». Pour sa part, Van Der Maren (2003, p. 27) écrit que la recherche de développement pédagogique de concepts vise les enjeux suivants : « présenter une réponse à un besoin chez un public afin de lui faire adopter un produit [...] développé à partir d'une idée [...] nouvelle ou non encore exploitée ». Dans notre recherche, c'est un des buts visés en développant le SPI.

3. DÉROULEMENT ET ÉCHÉANCIER

Dans cette section, nous détaillons notre processus pour le développement du SPI ainsi que l'échéancier de la recherche.

3.1. Stratégie de développement d'un produit

En premier lieu, nous nous sommes assurés d'utiliser un processus reconnu pour le développement d'un nouveau produit. Van Der Maren (2014, p. 145) écrit ceci à propos de la création d'outils pédagogiques : « La mise au point d'activité et de matériel pédagogique est une activité quotidienne des enseignants. Cependant, elle procède souvent de manière intuitive et artisanale, parant au plus pressé et sans grande planification : la production est efficace le lendemain, mais son usage reste local et temporaire ». Van der Maren (2014, p.145) ajoute qu'il est important d'user d'une bonne démarche lorsqu'on cherche à « assurer une certaine longévité » à une production. Chacune des étapes d'un processus de l'élaboration d'un nouveau produit doit être prise en compte et chacune contribue à l'atteinte des objectifs de ce produit à court et à long terme.

Le but principal de notre recherche est de produire et de valider un SPI au département de TEI pour diminuer le nombre d'étudiantes et d'étudiants par équipe de laboratoire et pour libérer partiellement les bancs de test réels. Plusieurs auteurs comme Paillé (2007) et Van der Maren (2014) suggèrent des méthodologies concernant une recherche-développement. Nous avons plutôt retenu celle d'Harvey et Loiselle (2009) pour différentes raisons. Premièrement, la méthodologie choisie est complète, c'est-à-dire qu'elle débute par l'origine de la recherche et elle se termine par la rédaction et la diffusion des rapports. Deuxièmement, elle est très similaire à une démarche utilisée en ingénierie de projet. Enfin, les auteurs se sont basés sur différentes approches d'autres spécialistes pour définir leurs méthodologies. La figure 5 montre celle que nous avons appliquée pour le développement du SPI. Elle est conçue pour une recherche-développement appliquée en pédagogie.

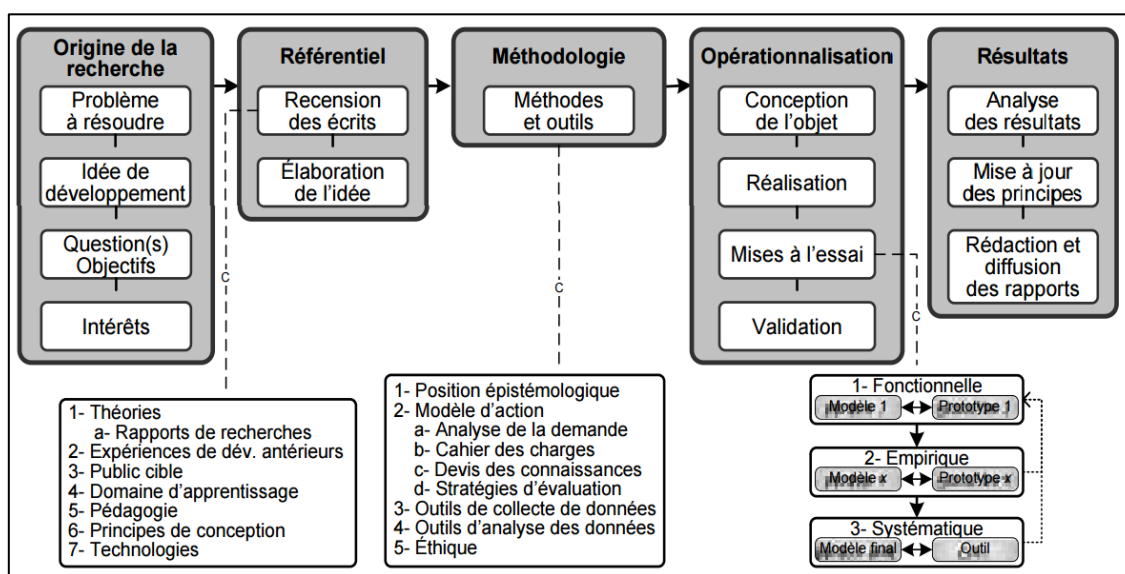


Figure 5 : Modèle de recherche-développement

Harvey, S. et Loiselle, J. (2009). Proposition d'un modèle de recherche-développement. *Recherches qualitatives*, 28(2), 95–117.

3.2. Origine de la recherche

Dans la démarche proposée par Harvey et Loiselle (2009), l'origine de la recherche comprend le problème à résoudre, l'idée de développement, les questions et objectifs ainsi que les intérêts en jeu. Cette partie a été définie au premier chapitre en lien avec la problématique de recherche.

3.3. Référentiel

Cette deuxième phase couvre, selon Harvey et Loisel (2009), le référentiel et l'élaboration de l'idée. Ces deux points ont été détaillés au deuxième chapitre portant sur le cadre de référence.

3.4. Méthodologie

Selon Harvey et Loisel (2009), l'étape de la méthodologie inclut la position épistémologique, le modèle d'action, les outils de collecte de données, les outils d'analyse des données et l'éthique. La position épistémologique et le modèle d'action ont été précisés plus tôt dans ce chapitre. Les outils de collecte de données, les outils d'analyse des données et l'éthique sont traités plus loin dans le présent chapitre.

3.5. Opérationnalisation et résultats

Dans les quatrième et cinquième étapes du modèle proposé par Harvey et Loisel (2009), on y retrouve la conception du SPI, sa réalisation, les mises à l'essai, sa validation par des expertes et des experts en automatisation ainsi que l'analyse des résultats, la mise à jour des principes et enfin, la rédaction et la diffusion des rapports. Ces deux étapes sont détaillées dans le quatrième chapitre de cette recherche.

3.6. Calendrier de la recherche

Le tableau de l'annexe F présente les étapes et les dates qui correspondent aux jalons de cette recherche. Les dates spécifiées dans le tableau sont exprimées de la semaine un (S1) à la semaine 52 (S52) d'une année.

Les trois premières phases, l'origine de la recherche, le référentiel et la méthodologie ont été détaillés, en grande partie, dans les trois premiers chapitres. Ainsi, au cours de ceux-ci, les besoins des enseignantes, des enseignants, des étudiantes et des étudiants, les critères de sélection des logiciels de conception et du matériel ainsi que les différentes fonctionnalités de base ont été énumérés. Ces informations ont été mises à jour au fur et à mesure de l'avancement de cette recherche et, plus particulièrement, lors de la phase de conception qui s'est poursuivie

jusqu'à la fin du développement. En effet, de nouvelles données pertinentes sont venues influencer le déroulement de la recherche.

Concernant la quatrième étape qui rassemble l'opérationnalisation et les résultats, nous avons commencé par la conception du SPI en janvier 2016. Dans la phase de réalisation, nous avons fabriqué le prototype initial n°1 du SPI. Cette étape a inclus notamment, la commande du matériel et son assemblage, la programmation des procédés, la création des pages graphiques ainsi que les tests préliminaires. En mars 2016, la préparation du SPI a été entamée. Le montage et la programmation du prototype du SPI ainsi que les tests préliminaires se sont déroulés jusqu'au mois de décembre 2016. À ce moment, le prototype initial n°1 était prêt à être validé par les expertes et les experts en automatisation.

À l'aide d'entrevues cliniques de groupe, des validations du SPI ont été effectuées par les expertes et les experts en automatisation durant la phase de mise au point, et ceci, de janvier 2017 à juin 2017. Voici les étapes des entrevues cliniques de groupe :

1. Nous avons présenté le SPI aux expertes et aux experts en automatisation;
2. Les expertes et les experts en automatisation ont validé le SPI dans une mise en contexte qui s'apparente à une situation réelle que pourrait rencontrer un technologue sur le marché du travail.
3. Au cours de la mise en situation, nous avons fait une collecte de données d'observation;
4. À la fin de la mise en situation, il s'en est suivi une discussion basée sur des questions de départ et nous avons recueilli d'autres informations et commentaires qui ont été enregistrés dans un fichier audio.

L'analyse des données provenant de l'entrevue clinique de groupe n°1 a été réalisée en janvier et février 2017 et l'analyse des données de la deuxième entrevue de groupe s'est faite en mai et juin 2017. Nous avons opté pour la stratégie de l'analyse par questionnaire analytique proposée par Paillé et Mucchielli (2012). Cette méthode est décrite plus loin dans ce chapitre. Le canevas investigatif, montré à l'annexe G, est l'outil d'analyse des données. Les résultats de l'analyse des données

font ressortir des modifications suggérées par les expertes et les experts en automatisation. Enfin, l'implantation de ces modifications, exécutée après les analyses des données, nous a permis de développer le prototype initial n°2 du SPI après l'entrevue de groupe n°1, puis le prototype initial n°3, après l'entrevue clinique de groupe n°2. En effet, au cours de cette deuxième entrevue de groupe, les expertes et les experts en automatisation ont validé le prototype initial n°2 du SPI. Le nombre des entrevues cliniques de groupe s'est arrêté à deux, car nous avons atteint un degré de satisfaction acceptable à l'endroit du SPI. Enfin, la rédaction et la diffusion de l'essai ont été effectuées au cours de l'été et de l'automne 2017.

4. CHOIX DES EXPERTES ET DES EXPERTS EN AUTOMATISATION

Dans cette section, nous donnons les informations pour la sélection des expertes et des experts en automatisation qui nous aideront à valider le SPI.

4.1. Caractéristiques de la population ciblée par le produit

Pour préciser la population cible, nous avons d'abord défini la population à l'étude de notre recherche comme étant les enseignantes et les enseignants ainsi que les étudiantes et les étudiants d'un programme TEI de niveau collégial. En effet, Fortin (2010, p. 255) écrit que « La population à l'étude n'est pas le groupe de personnes inclus dans l'étude, mais plutôt celui auquel on souhaite généraliser ou transférer les résultats ». Ensuite, nous avons précisé la population cible. Fortin (2010, p. 226) écrit que « [...] la population cible est l'ensemble des personnes qui satisfont aux critères de sélection définis d'avance et qui permettent de faire des généralisations ». Dans le cas de notre recherche, les représentants de la population cible devaient présenter des caractéristiques précises. Fortin (2010, p. 235) nous dirige vers le bon choix en ces termes : « En ce qui concerne l'échantillonnage par choix raisonné [...] les éléments de la population sont choisis sur des critères précis, afin que les éléments soient représentatifs du phénomène à l'étude ». La technique d'échantillonnage par choix raisonné a été effectivement utilisée. Afin de confirmer que le SPI réponde aux exigences d'un cours collégial en programmation d'automate, nous avons donc fait valider le SPI par des professionnelles et des professionnels techniques de niveau collégial dans le domaine de l'enseignement de l'automatisation

que nous avons nommé expertes et experts en automatisation. Les critères d'inclusion, inspirés d'Agbatchi (2015), pour la sélection des expertes et des experts en automatisation ont été les suivants :

1. Expérience requise : avoir au moins deux ans d'expérience dans le domaine de l'enseignement de l'automatisation;
2. Connaissance disciplinaire : avoir participé à la préparation de cours collégiaux liés à la programmation d'unités de commande pendant au moins deux sessions;
3. Connaissances techniques : avoir déjà programmé avec un logiciel de programmation d'automate;
4. Disponibilité : accepter de participer à la recherche de façon volontaire et sans rémunération.

4.2. Taille de l'échantillon

En ce qui a trait à la taille de l'échantillon, Van Der Maren (2003, p. 145) explique que nous devons atteindre la saturation des données. Il ajoute qu'il faut interroger «les informateurs jusqu'au moment où les informateurs n'apportent plus de nouvelles informations ». La taille de l'échantillon pour notre recherche a été de quatre expertes ou experts en automatisation. Van Der Maren (2003, p.145) écrit également qu'il est important de :

[...] s'assurer que les deux ou trois derniers informateurs interrogés qui répètent ce que l'on sait déjà sont des informateurs qui diffèrent les uns des autres et avec les informateurs précédents par au moins un trait, une caractéristique importante et pertinente par rapport au problème de la recherche.

Ainsi, parmi les quatre expertes ou experts en automatisation recrutées ou recrutés, nous avons eu au moins une enseignante active ou un enseignant actif au CRLT, une enseignante retraitée ou un enseignant retraité, une conseillère ou conseiller pédagogique ainsi qu'une technicienne ou un technicien en travaux pratiques. Enfin, des entrevues cliniques de groupe ont été organisées jusqu'à l'atteinte, non pas de la

saturation des données, mais d'un degré de satisfaction acceptable du fonctionnement du SPI par les expertes et les experts en automatisation.

5. ASPECTS ÉTHIQUES

Dans sa politique institutionnelle en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains, l'Université de Sherbrooke (2014) détaille quatre aspects éthiques que nous avons respectés dans notre recherche : l'intégrité scientifique, la préoccupation du bien-être, la vie privée et la confidentialité ainsi que l'autonomie de la personne.

5.1. Intégrité scientifique

Concernant l'intégrité scientifique, nous avons démontré, en premier lieu, dans les sections sur les méthodes de collecte et d'analyse de données que celles-ci permettent d'atteindre les objectifs de la recherche. En deuxième lieu, le Groupe consultatif en éthique de la recherche du Gouvernement du Canada (2016) explique que le double rôle d'une chercheuse/enseignante ou d'un chercheur/enseignant « entraîne parfois des conflits et des situations d'influence induite, de déséquilibre des pouvoirs ou de coercition qui risquent d'influer sur les rapports avec autrui et sur les processus décisionnaires (tel le consentement des participants) ». Ainsi, au début des entrevues cliniques de groupe, un avertissement sur les conflits d'intérêts a été lu afin que chaque collaborateur puisse s'exprimer si ce biais se produisait. Alors, chaque experte en automatisation et chaque expert en automatisation a partagé la responsabilité de s'assurer qu'il n'y ait pas de conflit d'intérêts de la part du chercheur comme la contamination du site.

5.2. Préoccupation pour le bien-être

Comme les expertes et les experts en automatisation ont fait la validation d'un SPI, les risques de tous types sont pratiquement inexistantes. L'analyse du SPI lors des entrevues cliniques de groupe a présenté des bénéfices potentiels intéressants. Premièrement, les expertes et les experts en automatisation ont découvert un nouvel outil pédagogique. Deuxièmement, ils ont partagé leur expérience avec le chercheur

et d'autres expertes et experts en automatisation qui travaillent dans le même domaine technique.

5.3. Vie privée et confidentialité

Pour permettre un partage efficace des données avec la direction d'essai, nous avons trouvé une façon sécurisée d'échanger les informations par Internet. Ainsi, pour une question de sécurité, nous avons préféré que les données soient retranscrites dans un fichier texte mis sur le site de Google Drive. Ce site protège la confidentialité des données sur leurs serveurs comme le montre l'extrait du document sur les règles de confidentialité de Google inc. à l'annexe H (Google, 2016). L'ouverture de ce fichier a été protégée par un mot de passe et une entente de confidentialité a été prise avec la direction d'essai concernant les données de ce fichier. Celles-ci seront détruites après l'acceptation de l'essai par l'Université de Sherbrooke. Le chercheur ne pourra utiliser ces données pour une formation, une présentation ou une nouvelle recherche sans le consentement écrit des expertes et des experts en automatisation qui a été recueilli au début de la collecte de données.

5.4. Autonomie de la personne

Les expertes et les experts en automatisation ont été libres de participer ou non à cette recherche. Ils ont reçu toutes les informations nécessaires au début des entrevues cliniques de groupe afin de prendre une décision éclairée. Enfin, ils pouvaient se désister en tout temps.

6. TECHNIQUES ET INSTRUMENTS DE COLLECTE DE DONNÉES

Deux techniques ont été utilisées pour effectuer la collecte de données au cours des entrevues cliniques de groupe. Dans la phase d'essai du SPI par les expertes et les experts en automatisation, un carnet de notes a permis de consigner des informations. Dans la deuxième phase de l'entrevue clinique de groupe, une discussion basée sur les 19 questions que l'on peut voir aux annexes I et J a eu lieu avec les expertes et les experts en automatisation et nous a permis d'enregistrer des informations et des commentaires pertinents pour l'amélioration du SPI.

Van Der Maren (2003, p. 118) écrit qu'il ne faut pas se « contenter de mesurer le résultat final, mais d'observer ce qui se passe lorsque le sujet [...] utilise le matériel ou des morceaux du matériel ». Ainsi, l'entrevue clinique de groupe, contrairement aux autres types d'entrevue, nous a permis de recueillir des réponses alors que l'experte ou l'expert en automatisation effectuait une tâche particulière. Van Der Maren (2003, p. 118) ajoute que « dans la mesure du possible, on discute avec le sujet de ce qu'il a fait ou de ce qu'il n'a pas pu faire avec le matériel, ce qui enrichit encore le diagnostic permettant de mieux identifier les modifications à apporter au matériel lui-même ou aux conditions de son utilisation ». Van Der Maren (2003, p. 157) résume cette technique de la façon suivante : « L'entrevue clinique a donc pour objectif de mettre en évidence des processus par la mise en acte et par la réflexion sur ces actions dans la réalisation d'une tâche ». La figure 6 montre les chaînes évaluatives typiques proposées par Van Der Maren (2003) pour le développement d'un produit.

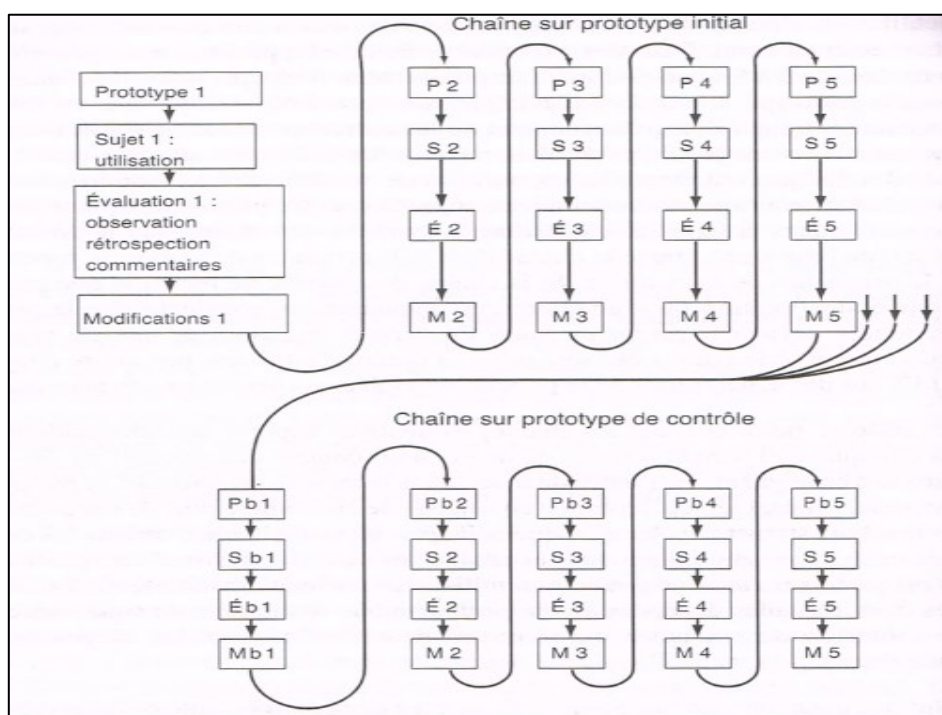


Figure 6 : Quatre chaînes évaluatives sur le prototype initial suivies d'une chaîne sur le prototype de contrôle qui résulte des quatre chaînes initiales.

Van der Maren, J.-M. (2014). La recherche appliquée pour les professionnels: Éducation, paramédical, travail social. Méthodes de

recherches pour l'éducation (3e éd.). Bruxelles: De Boeck Université (1re éd. 1995).

Chaque chaîne évaluative comporte quatre étapes. Dans le cadre de notre recherche, nous avons effectué uniquement la chaîne évaluative sur le prototype initial qui a mené le SPI vers un prototype de contrôle. La deuxième chaîne évaluative menant au produit pour être mis en marché pourrait s'effectuer dans le cadre d'une autre recherche. Voici les chaînes évaluatives de notre recherche basée sur le modèle de Van Der Maren (2003) :

1. Le prototype initial n°X : avant chaque entrevue clinique de groupe, les prototypes initiaux ont été mis à jour selon les commentaires des expertes et des experts en automatisation rencontrés lors des entrevues cliniques de groupe;
2. Sujet X, utilisation et validation : durant les entrevues cliniques de groupe, les expertes et les experts en automatisation ont essayé le SPI, ont participé à des discussions de groupe et ont émis des commentaires que nous avons notés ou enregistrés;
3. Modifications X : à la suite des entrevues cliniques de groupe, les prototypes initiaux ont été modifiés selon les données recueillies afin d'être prêts pour l'entrevue clinique de groupe suivante.

Comme nous venons de le voir, à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°1, une deuxième a été organisée. Celle-ci a servi à recueillir les commentaires des expertes et des experts en automatisation sur le prototype initial n°2 du SPI ainsi que dans le but d'atteindre un degré de satisfaction acceptable.

Voici le déroulement de l'ensemble de la collecte de données avec les expertes et les experts en automatisation:

1. Il y a eu recrutement d'au moins quatre expertes ou experts en automatisation liés au programme TEI comme des enseignantes actives ou des enseignants actifs, des enseignantes retraitées ou des enseignants retraités, des conseillères ou des conseillers pédagogiques, des techniciennes ou techniciens en travaux pratiques.

Ceux-ci devaient répondre aux critères d'inclusion décrits dans la section sur le choix de l'échantillon;

2. Nous avons rencontré les expertes et les experts en automatisation dans une première entrevue clinique de groupe. En raison d'un retard de livraison du matériel, nous n'avons eu qu'un seul SPI de prêt. Donc, nous avons d'abord présenté le prototype initial n°1 du SPI aux expertes et aux experts en automatisation puis, nous avons poursuivi la démonstration en exécutant nous-mêmes des tâches liées à la compétence Programmation d'unités de commande. La fiche d'entrevue clinique de groupe n°1 est montrée à l'annexe I. L'activité présentée dans la fiche d'entrevue clinique de groupe a été composée de tâches réelles, complexes, complètes et globales telles que proposées par Raymond (2006). Les questions qui ont suivi les tâches ont été basées sur les critères de conception montrés à l'annexe E. Ces derniers proviennent des critères de qualité du mode proactif et des rôles proposés par Lebrun (2007a) qui sont énumérés dans notre cadre de référence. Leurs réponses et leurs commentaires ont été recueillis dans le carnet de notes et sur des enregistrements audio. Ces informations ont été résumées puis analysées à l'aide du canevas investigatif qui est montré à l'annexe G. Ce canevas est basé sur les éléments de la compétence Programmation d'unités de commande qui sont énumérés dans notre cadre de référence. Les résultats ont été utilisés pour améliorer le prototype, pour enrichir les questions de la prochaine entrevue clinique de groupe ainsi que pour détailler le canevas investigatif.
3. Une deuxième entrevue clinique de groupe a été ensuite organisée afin de recueillir les commentaires des expertes et des experts en automatisation sur le prototype initial n°2. Au cours de celle-ci, les expertes et les experts en automatisation ont exécuté les tâches de l'activité telles que détaillées dans la fiche de l'entrevue clinique de groupe n°2 à l'annexe J.

Tous les documents qui ont été utilisés lors des entrevues cliniques de groupe ont été validés par une experte ou un expert en automatisation avant leur déroulement.

Comme nous venons de le voir, durant la partie de développement du SPI, il y a eu organisation de la première entrevue clinique de groupe. Van Der Maren (2003, p. 157) précise qu'« il faut que l'enquêteur puisse planifier l'entrevue en sachant, au moins d'une manière hypothétique, quelles actions sont de bons indices de quels processus ». Alors, pour satisfaire ce critère, une fiche d'entrevue clinique de groupe a été l'instrument utilisé en premier lieu. Celle-ci est basée sur le modèle proposé par Boutin (2000). La version finale de cet instrument est montrée à l'annexe I. Elle présente la mise en situation de l'activité, les tâches à faire et enfin, les questions que nous avons posées aux expertes et aux experts en automatisation pour démarrer les discussions.

Pour la deuxième entrevue clinique de groupe, nous avons utilisé le même type de fiche de laboratoire qui a été mis à jour à la suite de l'analyse des commentaires des expertes et des experts en automatisation lors de l'entrevue clinique de groupe n°1. Toutes les entrevues cliniques de groupe ont été enregistrées. En effet, le logiciel Magnétophone de Windows nous a permis de recueillir les commentaires des expertes ou des experts en automatisation le plus fidèlement possible ainsi que la possibilité de les consulter plusieurs mois après les entrevues.

7. MÉTHODE DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Pour la méthode de traitement et d'analyse des données, nous avons opté pour la stratégie de l'analyse par questionnement analytique proposée par Paillé et Mucchielli (2012). Cette méthode semble s'arrimer à notre recherche, car elle permet d'analyser et de classer les données recueillies selon les questions posées. À partir des questions de la grille d'analyse appelée canevas investigatif montré à l'annexe G (Paillé et Mucchielli, 2012), des sous-questions sont créées afin de raffiner le classement des réponses. Si des données pertinentes ne peuvent être classées, il faut créer de nouvelles questions ou sous-questions auxquelles ces informations seront

attribuées. Paillé et Mucchielli (2012, p 210) écrivent que « Les questions du canevas investigatif deviennent ainsi des guides pour l'analyse du corpus, des structures pour les réponses et des balises pour la rédaction du rapport ». Notre canevas investigatif est ainsi à la base des questions, et se développe tout au long de la collecte de données. Paillé et Mucchielli (2012, p. 209) souligne le fait qu'avec cette méthode d'analyse, « La démarche sera [...] rigoureuse, car l'étude du matériau, progressive et sensible, va se faire à l'aide de questions ciblées qui vont se multiplier à mesure de l'analyse ». La stratégie de questionnement analytique suggérée par Paillé et Mucchielli (2012, p.210) comprend trois étapes :

- Formuler, sélectionner, ou adapter, selon le cas, les questions opérationnalisant le mieux possible les objectifs recherchés par l'analyste;
- Soumettre le matériau pertinent à ces diverses questions, de manière à générer de nouvelles questions, plus précises et en lien avec le corpus, le tout constituant ce que nous appellerons un « canevas investigatif »;
- Répondre progressivement à ces questions en générant, non pas des catégories ou des thèmes, mais des réponses directes sous la forme d'énoncés, de constats, de remarques, de propositions, de textes synthétiques, et de nouvelles questions le cas échéant.

Voici un exemple d'une séquence de traitement et d'analyse des données tirées des entrevues cliniques de groupe :

1. Création d'une fiche d'entrevue pour la première entrevue clinique de groupe;
2. Validation de la fiche d'entrevue clinique de groupe auprès d'une experte ou d'un expert en automatisation et révision de celle-ci avec la direction d'essai;
3. Organisation d'une entrevue clinique de groupe avec le SPI;
4. Rédaction des points importants des enregistrements audio de l'entrevue clinique groupe;
5. Création d'un canevas investigatif à partir des questions soulevées ou des concepts qui reviennent souvent dans les textes des entrevues de groupe. Le canevas investigatif est enrichi grâce aux entrevues cliniques de groupe. Par exemple, à la question : Quels types de connaissances pratiques, le simulateur de procédés industriels permet-il de faire acquérir aux étudiants?, les expertes et les

experts en automatisation peuvent répondre : l'application de méthodes d'ajustement de boucles de régulation. Cette réponse nous permet de créer de nouvelles questions plus précises comme : quelles méthodes d'ajustement peut-on pratiquer avec le SPI? ou encore : quels outils peut-on utiliser pour faire les ajustements? Ces nouvelles questions nous permettront, par le fait même, d'améliorer l'entrevue clinique de groupe qui suit l'analyse. Chaque question et toutes modifications au canevas investigatif sont validées auprès de la direction d'essai;

6. Compilation des données issues du carnet de notes et de l'entrevue clinique de groupe dans le canevas investigatif. Elles sont classées en fonction de la question à laquelle elles répondent. Afin de conserver l'anonymat des auteures et des auteurs des commentaires et des suggestions d'amélioration, elles sont toutes nommées et ils sont tous nommés expertes ou experts en automatisation. Enfin, nous retenons les commentaires partagés par la majorité des expertes et des experts en automatisation;
7. Pour chaque note du carnet et pour chaque question de l'entrevue, une évaluation des informations, des réponses et des propositions d'amélioration est effectuée. Les critères principaux des modifications du SPI sont les critères de conception montrés à l'annexe E ainsi que la faisabilité des modifications avec les TIC choisies;
8. Amélioration de la grille d'entrevue clinique de groupe;
9. Pour chacune des entrevues cliniques de groupe, les étapes de trois à huit se répètent;
10. Interprétation des résultats par la rédaction d'un texte continu structuré selon les questions de la grille de l'entrevue semi-dirigée;
11. Modification du SPI.

8. MOYENS PRIS POUR ASSURER LA SCIENTIFICITÉ

Fortin (2010) décrit quatre critères de rigueur scientifique pour l'analyse de données qualitatives : la crédibilité, la transférabilité, la fiabilité et la confirmabilité. Elle propose également des techniques pour aider à atteindre ces critères.

Le recrutement des expertes et des experts en automatisation pour la validation du SPI ainsi que l'application de la triangulation élargie nous permet de donner une crédibilité aux futurs résultats de notre recherche. Van Der Maren (2003, p.144) définit ce type de triangulation de la façon suivante : « La triangulation élargie consiste [...] à recueillir de l'information sur un même événement ou objet auprès de plusieurs informateurs ayant des points de vue ou des rôles différents ». Ainsi, nous nous sommes assurés que les expertes en automatisation recrutées et les experts en automatisation recrutés aient des fonctions différentes comme enseignante active ou enseignant actif, enseignante retraitée ou enseignant retraité, technicienne ou technicien en travaux pratiques et conseillère ou conseiller pédagogique.

Les informations sur le SPI données dans ce rapport serviront aux enseignantes et aux enseignants pour juger si ce nouvel outil peut leur être utile. Ceci permet de satisfaire le critère de la transférabilité. Le choix de la démarche de recherche détaillée au chapitre trois ainsi que la validation par la direction d'essai nous permet de satisfaire le critère de fiabilité. Pour le critère de confirmabilité, nous avons évité le biais holistique en nous assurant que la sélection des données est effectuée de façon objective et que les informations ne s'orientaient pas volontairement vers la conclusion. De plus, nous avons considéré toutes les données, peu importe où elles menaient.

Le succès du développement du SPI dépendait aussi des commentaires constructifs. Alors, nous avons prévu, dans la fiche de l'entrevue clinique de groupe, de demander aux expertes et aux experts en automatisation, les points positifs et négatifs ainsi que les points à améliorer. Cette approche nous a permis d'éviter le biais de désirabilité sociale. En effet, nous avons amené les expertes et les experts en

automatisation à donner des avis qui pourraient aller à l'encontre de ce que nous voulions entendre.

Un autre aspect important est la liste des techniques que nous avons appliquées afin d'éviter des biais spécifiques à notre recherche. En premier lieu, nous avons cherché à recruter des expertes et des experts en automatisation à l'extérieur du cercle des enseignantes et des enseignants réguliers du CRLT. En effet, pour éviter le biais d'élite, Lecavalier (2016, p. 4) propose de « Choisir des acteurs périphériques ou d'anciens acteurs ». Pour ce faire, nous avons sollicité des retraitées ou des retraités de l'enseignement en TEI, certains provenant d'autres cégeps, des techniciennes et techniciens en travaux pratiques, ainsi que des conseillères et des conseillers pédagogiques.

Les notes et les informations tirées des enregistrements des entrevues cliniques de groupe ont été résumées dans un fichier texte et placées sur *Google Drive* et seuls le chercheur et sa direction d'essai y ont eu accès. Le but était d'avoir un regard extérieur sur le contenu retranscrit et ainsi réduire les effets du site sur le chercheur. Nous avons voulu ainsi éviter que l'environnement dans lequel se déroule la recherche contamine le chercheur et le pousse à dévier de sa méthodologie ou de sa planification. Une autre technique que nous avons appliquée afin de réduire les effets du site sur le chercheur est de retourner constamment aux objectifs de recherche. Par exemple, il était facile, dans des rencontres avec des expertes et des experts en automatisation, de dévier du sujet et de chercher de nouvelles avenues pour un SPI. Dans ce cas, une consigne a été émise au début des entrevues cliniques de groupe afin de préciser que c'est la responsabilité de chacun de signaler toute déviation du sujet principal.

Nous venons de présenter la méthodologie que nous avons appliquée au cours de notre recherche. Elle est basée sur le modèle de recherche-développement proposé par Harvey et Loiselle (2009). Nous avons précisé, dans ce chapitre, que notre approche méthodologique est de type qualitatif et que notre type d'essai est la production et la validation de matériel pédagogique. Nous y avons également détaillé notre échéancier, les critères de sélection des expertes et des experts en

automatisation ainsi que les aspects éthiques à considérer. Enfin, nous y avons décrit les outils et les instruments qui nous ont servi pour la collecte de données, la méthode de traitement et d'analyse des données collectées ainsi que les moyens pour assurer la scientificité de notre recherche. Le prochain chapitre traite des données recueillies et des résultats obtenus.

QUATRIÈME CHAPITRE

LES RÉSULTATS

Dans ce quatrième et dernier chapitre, nous présentons les résultats de notre recherche. Cette partie correspond aux quatrième et cinquième étapes de la démarche d'une recherche-développement proposée par Harvey et Loisel (2009). Ce chapitre est divisé en trois : la présentation du prototype initial n°1 du SPI, l'analyse des informations amassées au cours de la première entrevue clinique de groupe et le prototype initial n°2 ainsi que l'analyse des informations amassées au cours de la deuxième collecte de données et finalement, le prototype initial n°3.

1. DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE INITIAL N°1 DU SPI

À partir des critères de conception définis dans notre cadre de référence et montrés à l'annexe E, nous avons développé le prototype initial n°1 du SPI. Les équipements C et D montrés à la figure 2 composent le SPI. En effet, l'ordinateur muni des logiciels *Intouch* et *RSLogix 5000* ainsi que le module d'entrées et de sorties externes sont reliés par un câble Ethernet et permettent de simuler des procédés industriels variés. La composante A est le poste d'ordinateur utilisé par l'étudiante ou l'étudiant pour programmer le contrôleur n°1, montré en B à la figure 2. Ce dernier contrôle les procédés simulés par le SPI. Enfin, des fils servant à échanger des signaux en tension électrique de 24 Vcc et en courant électrique 4 à 20 mA relient les deux contrôleurs B et C.

Le logiciel choisi pour créer la partie graphique du SPI est *Intouch* de la compagnie Schneider Electric. Il est très utilisé dans le domaine de l'automatisation industrielle pour développer des interfaces humains-machines. La figure 7 montre la page d'accueil que nous avons développée et qui s'affiche au démarrage du SPI. Elle sert à sélectionner un des dix procédés développés.



Figure 7 – Page d'accueil du SPI.
CRLT

1.1. Le procédé de fabrication de café

Ce procédé, montré à la figure 8, est un des plus complexes que nous avons développés. L'étudiante ou l'étudiant peut choisir ce procédé en appuyant sur la touche *Avancé*. Il est composé de plusieurs capteurs, transmetteurs et actionneurs. Le programme que doit développer l'étudiante ou l'étudiant est complexe et est proche de ce qu'il peut avoir à faire sur le marché du travail. Tous les procédés simulés sont accompagnés d'une station de contrôle située à droite de l'écran. L'étudiante ou l'étudiant peut se servir des boutons-poussoirs pour démarrer ou arrêter les séquences ou encore, il peut programmer les trois lampes-témoins pour indiquer différents états du procédé comme les modes automatique, manuel et arrêt. Ce procédé de fabrication de café est aussi muni d'un bouton-poussoir jaune permettant d'avoir accès à des codes pour créer des pannes dans le système. Celui-ci est situé dans un carré blanc dans le haut de l'écran.

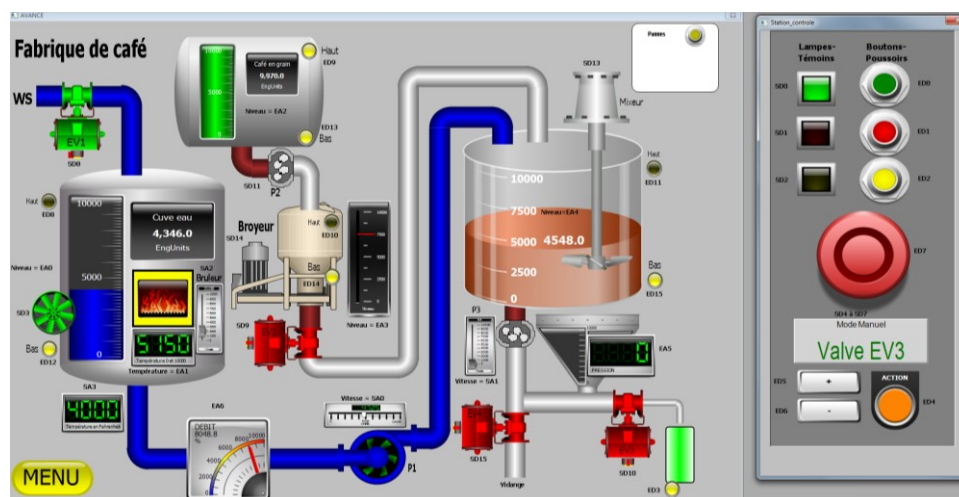


Figure 8 – Procédé de la fabrication de café
CRLT

1.2. Contrôle de niveau en mode tout ou rien (TOR)

Le procédé de contrôle de niveau d'un réservoir ne possède que trois capteurs et un actionneur. Il sert à introduire la programmation d'automate aux débutants. Nous pouvons le voir à la figure 9. La logique à développer pour faire fonctionner ce système est simple, mais elle permet à l'étudiante ou l'étudiant de mettre en œuvre les fonctions de base de la programmation d'automate.

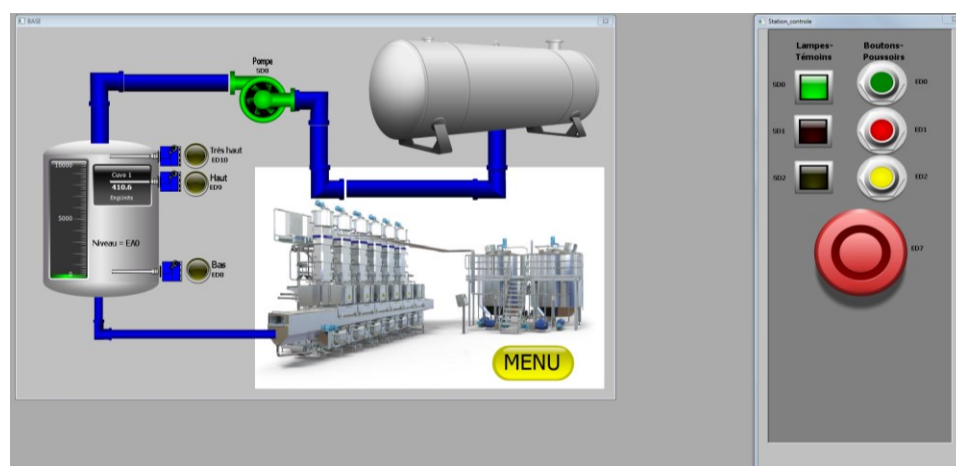


Figure 9 – Procédé du contrôle de niveau TOR
CRLT

1.3. Le procédé MFT

Comme le montre la figure 10, ce procédé est une reproduction du banc de test réel du fabricant MFT que nous avons au CRLT. Il est conçu pour aider à l'acquisition de connaissances liées à la régulation de procédé. L'étudiante ou l'étudiant peut programmer différentes boucles de régulation comme la pression, le débit ou encore le niveau. Puis, une fois que c'est fonctionnel avec le SPI, elle ou il peut tester sa programmation avec un banc de test réel.

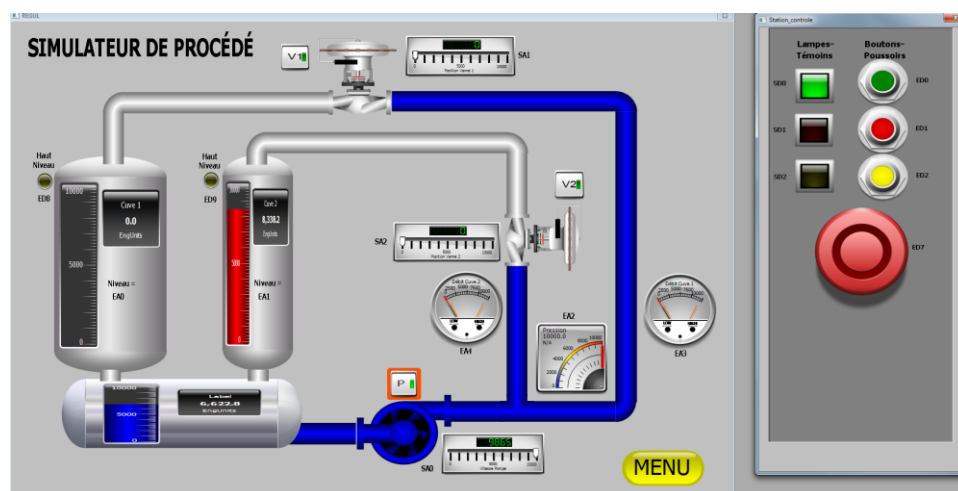


Figure 10 – Procédé MFT
CRLT

1.4. Le procédé du four

Ce procédé qui peut être vu à la figure 11, est aussi une reproduction d'un petit four que nous avons au CRLT. Il est composé de quatre ampoules, deux ventilateurs et une sonde de température. L'étudiante ou l'étudiant doit programmer une régulation de température dans le but de maintenir une consigne dans diverses conditions de fonctionnement.

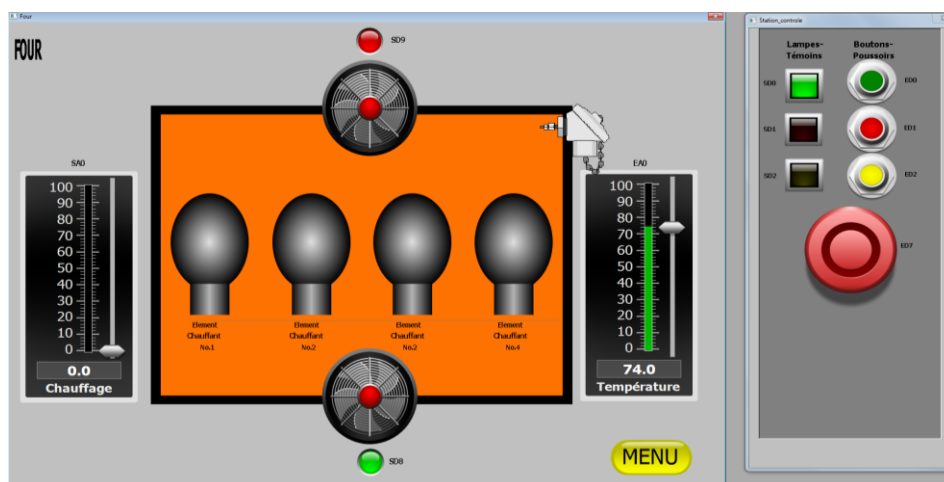


Figure 11 – Procédé du four
CRLT

1.5. Le procédé de lavage de minerai

L'étudiante ou l'étudiant peut, avec ce procédé montré à la figure 12, programmer l'automatisation d'un système de lavage de minerai. Ce procédé introduit les signaux analogiques aux étudiantes et aux étudiants dans le cours de programmation avancée d'un automate. En effet, dans les procédés qu'elle ou il a programmés avant, un moteur se contrôlait par une commande marche ou arrêt. Dans ce procédé-ci, la vitesse du convoyeur est variable et peut donc se situer entre 0% et 100% de sa capacité.

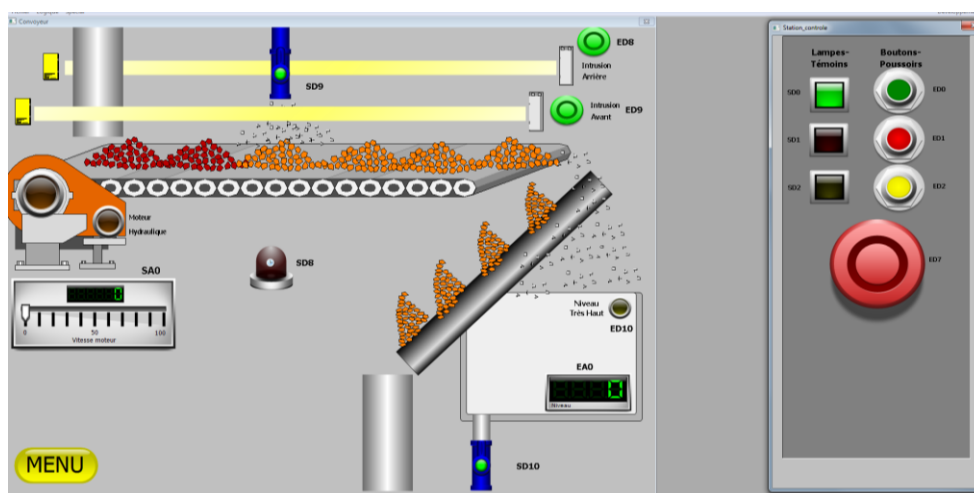


Figure 12 – Procédé de lavage de minerai
CRLT

1.6. Le procédé de la station 1 de la ligne Festo

Cette simulation reproduit une station de manipulation de bouchons de bouteille que nous utilisons au CRLT depuis plusieurs années et que nous n'avons qu'en une seule copie. Ainsi, avec le SPI, l'enseignante ou l'enseignant peut faire programmer cette station par toutes les étudiantes et tous les étudiants en même temps. Nous pouvons voir ce procédé à la figure 13.

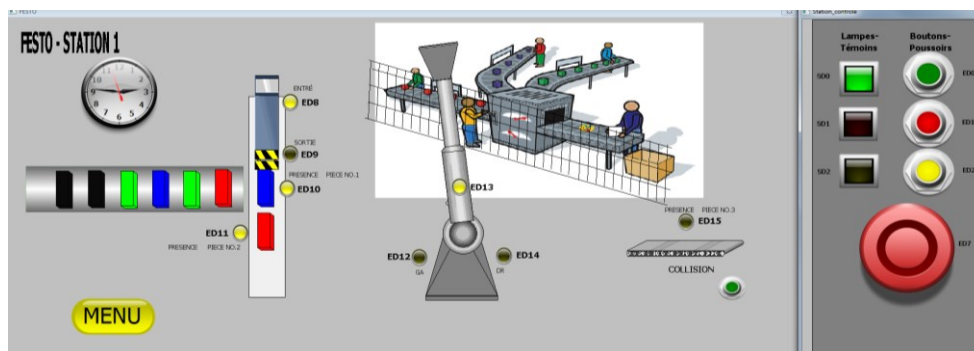


Figure 13 – Procédé de la station 1 de la ligne Festo CRLT

1.7. Le procédé des silos de dosage

Le procédé de silos de dosage, montré à la figure 14, a été conçu principalement pour que l'étudiante ou l'étudiant développe des programmes de gestion de recettes. En effet, trois ingrédients primaires sont contenus dans les silos du haut. Puis, une quantité de ces ingrédients est transférée aux silos coniques selon la recette programmée. Enfin, ils sont mélangés dans le réservoir du bas avant d'être chargés dans le camion.

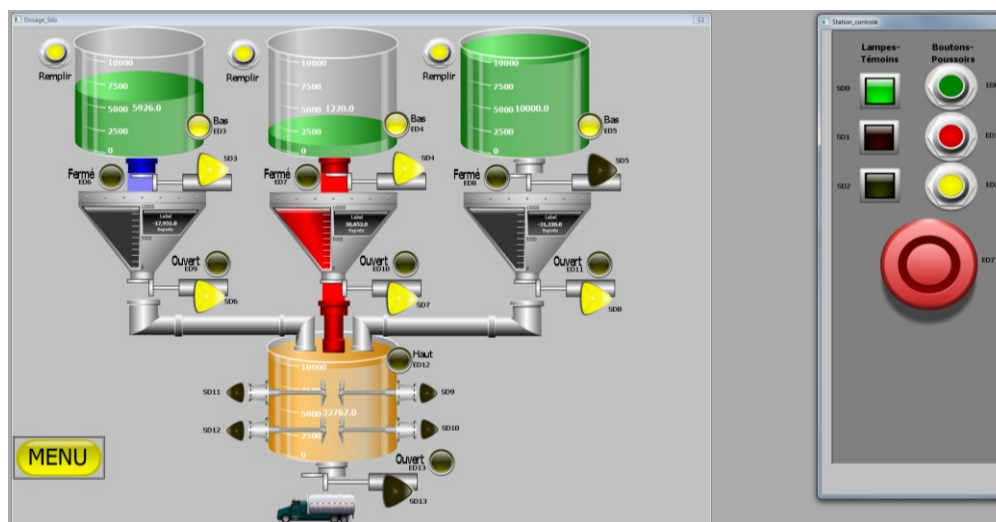


Figure 14 – Procédé des silos de dosage
CRLT

1.8. Le procédé de remplissage de bouteilles

La figure 15 montre un procédé qui conduit l'étudiante ou l'étudiant à programmer une gestion de remplissage de bouteilles tout en régulant une pression dans les conduits ainsi qu'une température dans le réservoir. Par exemple, l'enseignante ou l'enseignant pourrait demander de remplir un maximum de deux bouteilles en même temps. Cette logique serait programmée par l'étudiante ou l'étudiant.

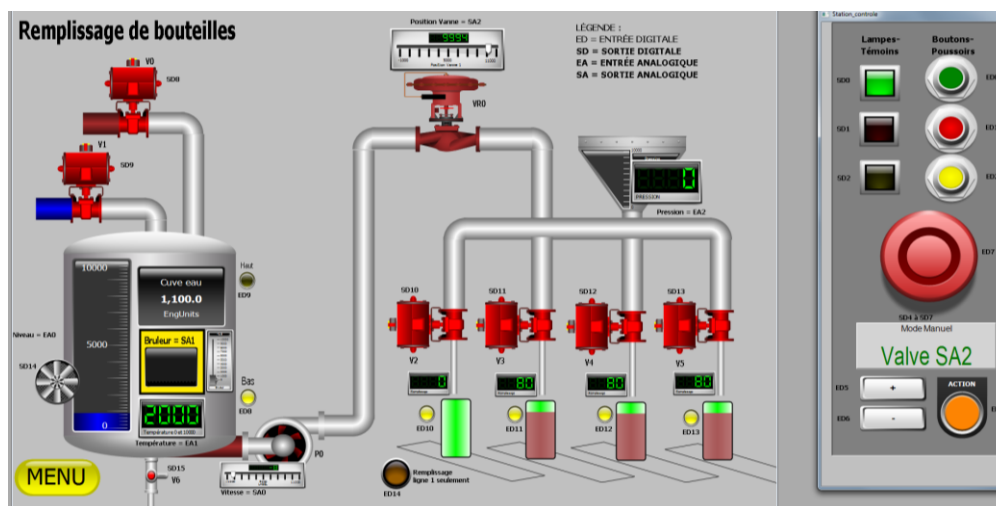


Figure 15 – Procédé de remplissage de bouteilles
CRLT

1.9. Le procédé de lavage de bacs

Dans ce système automatisé que l'on peut voir à la figure 16, l'étudiante ou l'étudiant doit programmer les déplacements horizontaux et verticaux ainsi que l'ouverture et la fermeture d'une pince qui prend des bacs et les dépose dans un bain pour être lavés. Puis, la pince les reprend pour les déposer à la sortie qui est à la droite de l'écran. Cette simulation est un mélange intéressant de régulation et de contrôle de mouvement comme on en retrouve dans l'industrie.

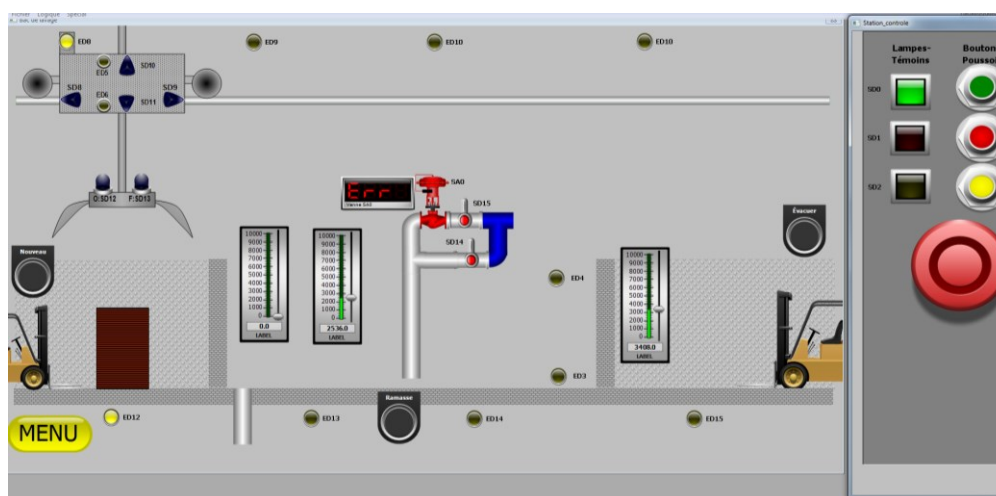


Figure 16 – Procédé de lavage de bacs
CRLT

1.10. Le procédé de contrôle de compresseurs à air

Dans ce procédé, l'étudiante ou l'étudiant doit démarrer et arrêter des compresseurs selon la demande de l'usine. De plus, elle ou il doit s'assurer que le nombre d'heures de fonctionnement de chaque compresseur est semblable afin d'avoir une usure similaire. Ce procédé est montré à la figure 17.

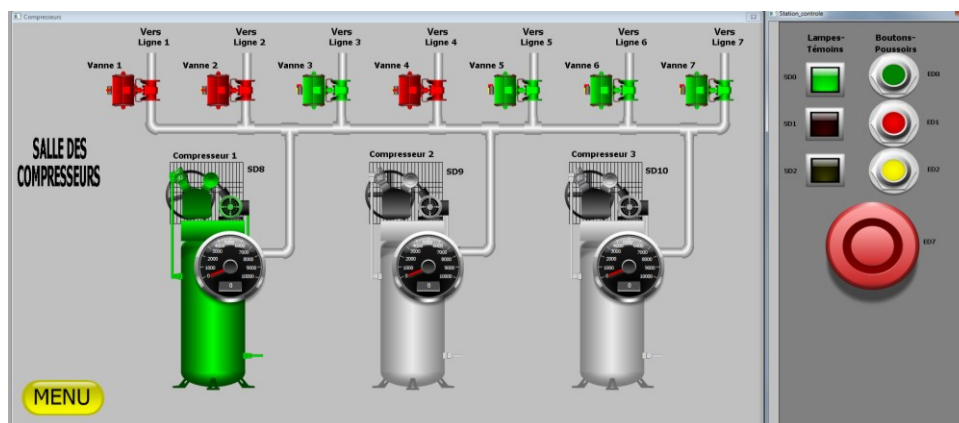


Figure 17 – Procédé de contrôle de compresseurs d’air
CRLT

1.11. La programmation du SPI

La logique programmée qui permet la simulation des procédés a été développée avec le logiciel *RSLogix 5000* de la compagnie Rockwell Automation, puis transférée dans un automate programmable virtuel qui communique avec un module muni d’entrées et de sorties qui permettent d’échanger des signaux électriques avec l’automate de l’étudiante ou de l’étudiant. La composante D de la figure 2 montre l’ordinateur dans lequel se trouve la logique du SPI.

2. ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°1

À partir des critères de conception et du canevas d’investigation montrés aux annexes E et G, nous avons préparé une première entrevue clinique de groupe. Elle a été divisée en trois parties : la présentation de l’entrevue, l’activité d’essai ainsi qu’une discussion de groupe. Parmi les dix procédés offerts, nous avons sélectionné celui de la machine à café pour être évalué par les expertes et les experts en automatisation. Ce procédé est le plus complexe et le plus diversifié que nous avons développé.

2.1. Démonstration du SPI aux expertes et aux experts en automatisation

Après l’introduction de l’entrevue clinique n°1 aux expertes et aux experts en automatisation, nous avons effectué une démonstration du prototype initial n°1 du SPI. En effet, en raison de quelques complications avec la livraison du matériel, nous

avons eu accès qu'à un seul prototype initial n°1 du SPI. Nous avons donc effectué les essais et ils ont été suivis par les expertes et les experts en automatisation sur un écran mural. Le déroulement de la démonstration est détaillé dans la fiche d'entrevue clinique n°1 montrée à l'annexe I. Comme les expertes ou les experts en automatisation n'ont pas exécuté l'activité, aucun commentaire pertinent n'a été relevé dans le cahier de notes au cours de cette partie.

2.2. Questions sur l'essai du SPI

À la suite de notre démonstration avec le prototype initial n°1 du SPI, nous avons eu une discussion de groupe basée sur 19 questions que l'on retrouve dans la fiche d'entrevue clinique de groupe n°1 à l'annexe I. Un tableau présenté à l'annexe K résume le cheminement et nos actions au cours des entrevues cliniques de groupe. Les colonnes trois et quatre concernent l'entrevue clinique de groupe n°1. Voici les informations recueillies à partir des 19 questions de la fiche de l'entrevue clinique de groupe n°1. Nous retrouvons dans les paragraphes qui suivent, nos réponses et les actions que nous avons entreprises pour modifier le prototype initial n°1 du SPI et ainsi nous rendre au prototype initial n°2.

2.2.1. Question 1 : Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?

La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative sur cette question. Une experte ou un expert en automatisation a demandé s'il est possible d'avoir le procédé et un graphe représentant les valeurs analysées en même temps. Cette suggestion est intéressante, car elle permettra aux étudiantes et aux étudiants de visualiser toute l'information en même temps. Alors, nous avons modifié des symboles pour permettre aux étudiantes et aux étudiants de visualiser les valeurs des boucles de régulation. De plus, les étudiantes et les étudiants peuvent créer des graphes à l'aide du logiciel de programmation d'automate. Cette modification est montrée au point un de la figure 18. Une experte ou un expert en automatisation a également proposé de modifier les formats des contenants de remplissage pour qu'ils ressemblent à des bouteilles, ce que nous avons fait pour que notre simulation

s'approche le plus possible de la réalité. Nous pouvons voir cette modification au point trois de la figure 18.

Une experte ou un expert en automatisation nous a proposé d'ajouter des animations pour varier les valeurs minimum et maximum des entrées analogiques dans le but de pratiquer les étudiantes et les étudiants à faire de la mise à l'échelle. Cette suggestion est intéressante puisque les étudiantes et les étudiants programmeront avec des blocs de programmation mathématiques. Des afficheurs qui ont des échelles différentes ont été ajoutés. Par exemple, avec les afficheurs sous le premier réservoir, les étudiantes et les étudiants pourront programmer des mises à l'échelle montrant les températures en Celsius et en Fahrenheit.

À la demande d'une experte ou d'un expert en automatisation, nous avons ajouté un fond jaune au bouton-poussoir de l'arrêt d'urgence afin de s'arrimer avec la norme de sécurité CSA Z-432. Cet ajout apparaît au point cinq de la figure 18.

2.2.2. *Question 2 : Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps?*

Une experte ou un expert en automatisation mentionne qu'il semble y avoir beaucoup d'animations, mais on n'a pas le choix quand on travaille avec ce genre de système. Une experte ou un expert en automatisation ajoute qu'on bâtit la programmation par étape alors il n'y a pas de problème. Une experte ou un expert en automatisation précise que c'est ce qu'on retrouve dans l'industrie. En général, les expertes et les experts en automatisation sont d'accord pour dire que la quantité d'animations sur une même fenêtre est bien ajustée.

2.2.3. *Question 3 : Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une seule page graphique?*

Cette question a été discutée avec la question précédente.

2.2.4. *Question 4 : Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?*

Une experte ou un expert en automatisation nous fait remarquer qu'il y a différentes polices de caractères sur la page principale. Nous avons ainsi modifié le

SPI pour n'avoir qu'une seule police de caractères sur la page principale. Cette modification paraît au point six de la figure 18. Par contre, certaines polices de caractères, dont celles des boutons-poussoirs ne sont pas modifiables.

2.2.5. *Question 5 : Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer, à faire fonctionner?*

Pour introduire cette question, nous faisons un retour sur le matériel qui compose le prototype initial n°1 du SPI. À cause des problèmes de disponibilité du matériel, nous avons présenté le montage du SPI lors de la deuxième entrevue clinique de groupe. Une experte ou un expert en automatisation propose de diminuer physiquement le SPI en utilisant un automate virtuel comme SoftLogix au lieu d'un vrai automate. Dans le prototype initial n°2, le contrôleur dans lequel est programmée la logique simulant le procédé a été changé pour un automate virtuel, c'est-à-dire un automate qui est dans l'ordinateur du SPI hébergeant également les logiciels qui servent au développement du SPI. Cette modification nous a permis de diminuer les dimensions physiques et le poids du SPI en éliminant le module du processeur physique et son bloc d'alimentation.

2.2.6. *Question 6 : Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?*

Une experte ou un expert en automatisation demande s'il est possible de conserver les courbes des données recueillies au cours d'une manipulation. Il est possible d'enregistrer une courbe d'un graphe à l'aide du logiciel de programmation de l'automate. Cette fonction ne fait donc pas partie du prototype initial n°1 du SPI. Une experte ou un expert en automatisation ajoute qu'on peut évaluer la programmation de l'étudiante ou de l'étudiant à l'aide du SPI donc qu'on peut garder une trace d'une activité. Les autres expertes et experts en automatisation approuvent cette affirmation.

- 2.2.7. *Question 7 : Est-ce que le SPI est facile d'utilisation, est-il intuitif? Par exemple, lors d'un changement d'activité, est-ce que le passage d'un procédé à un autre se fait facilement?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Le prototype initial n°1 du SPI leur semble facile à comprendre et à utiliser.

- 2.2.8. *Question 8 : Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI sont bien identifiés?*

Une experte ou un expert en automatisation s'interroge sur la raison des formats différents des boutons-poussoirs de la page d'accueil qui sont ronds et carrés. Une experte ou un expert en automatisation se demande si ces formats représentent des niveaux de difficulté. Une experte ou un expert en automatisation ajoute que leur uniformisation porterait peut-être moins à confusion. Dans le but d'éviter toute mauvaise interprétation de la part des étudiantes et des étudiants, les formats des boutons-poussoirs ont été standardisés dans le prototype initial n°2 du SPI. Les couleurs représentent le niveau de difficulté des procédés. De plus, ils ont été classés en ordre de difficulté comme c'est montré au point sept de la figure 19.

Une experte ou un expert en automatisation propose d'augmenter le contraste des caractères sur la station de contrôle qui sont noirs sur un fond gris foncé. Le contraste est effectivement faible alors, nous l'avons amélioré. Cette modification est montrée au point huit de la figure 18.

- 2.2.9. *Question 9 : Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé en ce qui concerne les couleurs et la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?*

Une experte ou un expert en automatisation mentionne que la compréhension du rôle des animations entourant le contrôle de la température est difficile à saisir. Une experte ou un expert en automatisation propose de changer la couleur du réservoir d'eau lorsque sa température augmente. Les animations liées au

contrôle de température sont effectivement peu claires pour des novices sur le SPI. Ainsi, nous avons modifié les animations montrant la variation de température du premier réservoir. En effet, en plus de voir la valeur de la température sur un afficheur, la couleur du liquide change d'un bleu représentant le froid, vers un rouge représentant le chaud, en passant par le jaune et l'orangé. On peut voir cette modification au point neuf de la figure 18.

Une experte ou un expert en automatisation demande la raison pour laquelle il y a deux indicateurs de pression dans la section remplissage des bouteilles. En effet, pour rendre le concept de pression plus concret pour les étudiantes et les étudiants, nous avons mis deux animations : un afficheur qui montre la pression en chiffre et une colonne qui indique la pression de façon plus visuelle. Les expertes et les experts en automatisation sont d'accord avec cette façon de représenter la pression.

Une experte ou un expert en automatisation nous interroge pour savoir si le SPI suit les lois de la physique notamment à propos de la simulation de la pression et du débit. Au moment de l'entrevue clinique de groupe n°1 et jusqu'au mois de juin 2017, une enseignante ou un enseignant en physique travaille activement avec une enseignante ou un enseignant de TEI pour améliorer les équations mathématiques qui servent à simuler les phénomènes physiques dans le SPI comme la montée de la pression selon la vitesse de la pompe pour qu'ils soient plus près de réalité. Des essais sont présentement en cours afin d'obtenir des résultats semblables sur un banc de test réel et le procédé simulé.

2.2.10. Question 10 : Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? Est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?

À la suite d'une demande d'une experte ou d'un expert en automatisation, différentes vitesses de réaction de procédés ont été programmées. Par exemple, la vitesse de montée de la température lors de la chauffe d'un four est beaucoup plus longue que la vitesse de montée d'un débit dans un conduit. Les étudiantes débutantes

et les étudiants débutants pourraient donc commencer avec le procédé du four. Cette modification est montrée au point quatre de la figure 18.

2.2.11. Question 11 : Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires? Est-ce que l'outil ou le document qui décrit l'activité précise les actions et les ajustements qu'une technicienne ou qu'un technicien en travaux pratiques aurait à faire sur un vrai procédé, mais pas sur le SPI?

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. En effet, les limites ont bien été mentionnées en introduction de l'entrevue clinique de groupe n°1. Nous pouvons les retrouver dans la fiche d'entrevue clinique de groupe n°1 à l'annexe I.

2.2.12. Question 12 : Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?

Une experte ou un expert en automatisation répond oui à cette question et ajoute que quelques compétences vues dans les cours précédents ne sont pas utilisées alors qu'elles le sont avec un banc de test réel. Elle ou il se demande aussi quelles autres compétences du DEC peuvent être mises en œuvre avec le SPI. Malgré le fait que ce soit une question intéressante pour le département de TEI, elle pourra faire partie d'une recherche potentielle avec le SPI.

Une experte ou un expert en automatisation s'interroge sur la possibilité de combiner le simulateur avec des bancs de test réels. C'est effectivement possible sous diverses formes comme celle où les étudiantes et les étudiants développent et testent leur programme avec le SPI et le confirment ensuite avec le banc de test réel. Le choix de la combinaison d'un SPI et un banc de test réel est un choix à faire par celle ou celui qui développe les activités d'apprentissage. Une experte ou un expert en automatisation se demande aussi si nous avons comparé le cheminement des étudiantes et des étudiants qui ont travaillé sur les bancs de test réels et des étudiantes et des étudiants qui ont travaillé seulement sur le simulateur. Est-ce que l'intérêt est

semblable? Nous n'avons pas fait ces comparaisons, mais ces interrogations pourraient mener vers une autre recherche en pédagogie.

Une experte ou un expert en automatisation se demande si nous devrions limiter l'utilisation du SPI aux trois dernières sessions du DEC en TEI pour que les étudiantes et les étudiants aient eu le temps de toucher à de vrais procédés. Cette question devra être discutée lors d'une rencontre départementale.

Enfin, plusieurs expertes et experts en automatisation sont d'accord pour dire que le SPI est très intéressant quand on veut travailler avec un procédé qui n'est pas possible d'avoir en version réelle au cégep comme un procédé complexe, dangereux ou un qui demande beaucoup d'énergie.

2.2.13. Question 13 : Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence Programmer des unités de commande?

Les expertes et des experts en automatisation ont répondu dans l'affirmative à cette question. Une experte ou un expert en automatisation ajoute que l'utilisation du simulateur peut accélérer le processus d'acquisition de cette compétence dans un contexte de formation en ligne. Et elle ou il demande si nous devrions ajouter des procédés de plus bas niveau pour aider les étudiantes et les étudiants débutants en programmation d'automate. Il y a présentement quatre procédés sur dix qui sont pour des étudiantes débutantes ou des étudiants débutants. Si le besoin s'en fait sentir, il est possible de développer d'autres procédés simples.

2.2.14. Question 14 : Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants?

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative.

2.2.15. *Question 15 : Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Une experte ou un expert en automatisation a ajouté qu'avec le SPI, les étudiantes et les étudiants peuvent réessayer leurs programmes autant de fois qu'ils veulent.

2.2.16. *Question 16 : Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures? Par exemple, est-ce qu'au cours d'une activité avec le SPI et avant de passer à la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation?*

Une experte ou un expert en automatisation répond oui à cette question et ajoute que c'est grâce notamment aux signaux 4-20 mA que les étudiantes et les étudiants peuvent utiliser des connaissances antérieures. Une experte ou un expert en automatisation répond également que les étudiantes et les étudiants effectueront un retour sur plusieurs de leurs connaissances antérieures, sauf celles associées à des procédés réels. Elle ou il se demande aussi s'il est possible de brancher des transmetteurs, des capteurs et des actionneurs au SPI pour mixer le SPI et un procédé réel. Comme le SPI est équipé de vraies entrées et de vraies sorties, il peut être incorporé dans n'importe quel procédé réel.

2.2.17. *Question 17 : Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches que l'étudiante ou l'étudiant a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?*

Les expertes et des experts en automatisation ont répondu dans l'affirmative à cette question. Une experte ou un expert en automatisation ajoute qu'on peut mettre la programmation de boucles de régulation dans un contexte plus complexe.

2.2.18. *Question 18 : Est-ce que pour programmer les procédés du SPI, les étudiantes et les étudiants utilisent les mêmes outils que les spécialistes de l'industrie?*

La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative pour cette question.

2.2.19. *Question 19 : En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence Programmer des unités de commande, est-ce qu'il y en a qui ne seraient pas atteignables à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?*

Une experte ou un expert en automatisation mentionne qu'à première vue, on peut couvrir presque toute la compétence Programmer des unités de commande. En retournant voir les éléments de compétence, les expertes et les experts en automatisation s'interrogent sur la possibilité d'acquérir celui lié au réseau de champ. Un questionnement surgit à savoir si, avec le SPI, on peut développer plusieurs procédés qui s'échangeraient des données entre eux. La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Ensuite, les expertes, les experts en automatisation et le chercheur se demandent s'il est possible de rencontrer le critère de performance Respect des règles de santé et de sécurité au travail avec le SPI comme le requiert les plans-cadres des cours liés à l'élément de compétence Programmer des unités de commande. Une experte ou un expert en automatisation précise qu'on ne peut pas répondre complètement à ce critère seulement avec le SPI. Après vérification dans les plans-cadres, il n'est effectivement pas atteignable selon les objectifs qui lui sont associés. Par exemple, les étudiantes et les étudiants n'ont pas besoin des équipements de protection individuels comme des lunettes ou des chaussures de sécurité pour faire fonctionner les procédés virtuels du SPI. Par contre, au CRLT, la compétence Programmer des unités de commande est atteinte par plusieurs cours alors les objectifs liés à la sécurité sont déjà atteints dans les cours Programmation d'un automate et Robot et sécurité des machines.

2.3. Modifications effectuées sur le SPI résultant de l'entrevue clinique de groupe n°1

À la suite des données recueillies lors de l'entrevue clinique de groupe n°1, nous avons modifié le procédé de fabrication de café du SPI ainsi que la page principale. Dans la colonne *Réponses ou actions du chercheur à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°1* de l'annexe K, on retrouve l'interprétation des données recueillies. Voici les modifications effectuées après l'entrevue clinique de groupe n°1 :

1. Modification de symboles pour permettre aux étudiantes et aux étudiants d'observer les valeurs des boucles de régulation comme un affichage visuellement plus clair des valeurs de chauffage et de vitesse de pompe. (Modification un sur la figure 18)
2. En lien avec la question 5, le contrôleur dans lequel est programmée la logique simulant le procédé a été changé pour un automate virtuel, c'est-à-dire un automate qui est dans l'ordinateur qui contient également les logiciels qui servent au développement du SPI. Cette modification nous a permis de diminuer les dimensions physiques et le poids du SPI en éliminant le module du processeur et son bloc d'alimentation.
3. Les bouteilles ont été redessinées tout en gardant l'animation de remplissage. (Modification trois sur la figure 18)
4. Des afficheurs qui ont des échelles différentes ont été ajoutés. Par exemple, avec les afficheurs sous le premier réservoir, les étudiantes et les étudiants pourront programmer des mises à l'échelle montrant les températures en Celcius et en Fahrenheit. (Modification quatre sur la figure 18)
5. Selon la loi sur la santé et la sécurité au travail, tout système doit être muni d'un bouton d'arrêt d'urgence en forme de champignon et de couleur rouge. La norme sur la sécurité des machines (CSA Z-432) ajoute que l'arrière du bouton d'arrêt d'urgence doit être jaune afin de l'identifier rapidement. Alors, un fond jaune a

été ajouté à l'arrière du bouton d'arrêt d'urgence. (Modification cinq sur la figure 18)

6. Nous avons modifié le texte sur le procédé de la fabrique de café et sur la page principale pour qu'une seule police de caractères soit utilisée. Par contre, certaines polices de caractères comme celles des afficheurs ne sont pas modifiables. (Modification six sur la figure 18)
7. Nous avons mis toutes les touches d'accès aux procédés de la page principale dans le même format et nous avons mis des couleurs selon les niveaux de difficulté. (Modification sept sur la figure 19)
8. Nous avons accentué le contraste des caractères sur la station de contrôle. (Modification huit sur la figure 18)
9. Nous avons modifié les animations montrant la variation de température du premier réservoir. En effet, en plus de voir la valeur de la température sur un afficheur, la couleur du liquide varie d'un bleu qui représente le froid vers un rouge qui représente le chaud en passant par le jaune et l'orange. (Modification neuf sur la figure 18)

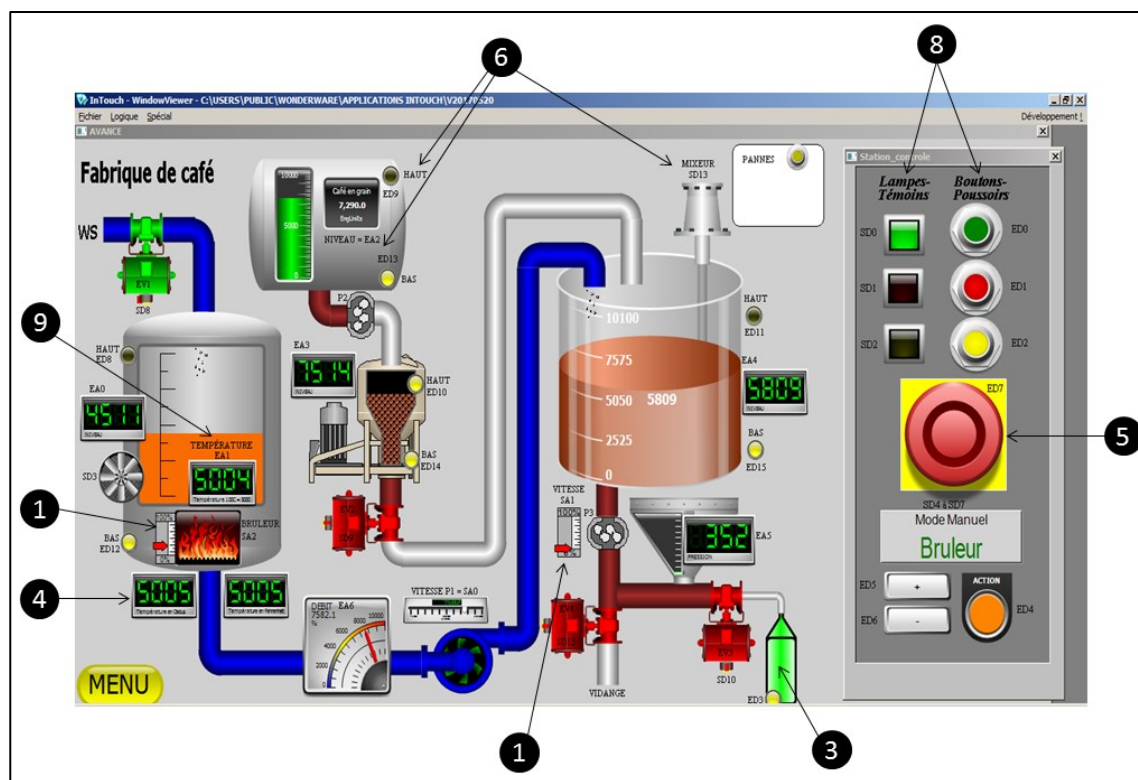


Figure 18 – Modifications au procédé de la fabrique de café à la suite de l’entrevue clinique de groupe n°1.
CRLT

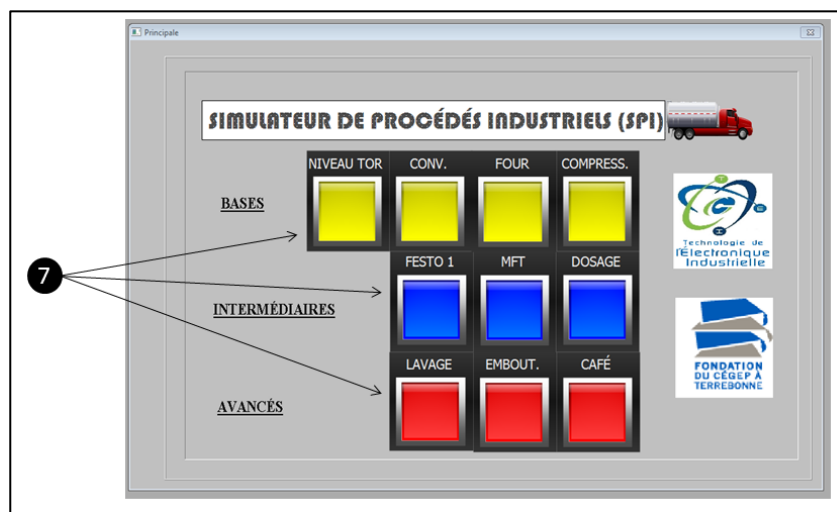


Figure 19 – Modifications à la fenêtre principale à la suite de l’entrevue clinique de groupe n°1.
CRLT

3. ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°2

À la suite des modifications effectuées sur le SPI pour arriver au prototype initial n°2, nous avons organisé une deuxième entrevue clinique de groupe. Elle a été également divisée en trois parties. En premier lieu, nous avons de nouveau présenté le projet de recherche et les modifications effectuées sur le SPI depuis l'entrevue clinique de groupe n°1. Ensuite, les experts ont fait une activité pédagogique avec le SPI. Enfin, nous avons terminé cette entrevue clinique de groupe par une discussion avec les expertes et les experts en automatisation. La fiche de l'entrevue clinique de groupe n°2, montrée à l'annexe J, donne les détails sur son déroulement.

3.1. Essai du SPI par les expertes et les experts en automatisation

Pour cette deuxième entrevue clinique de groupe, les expertes et les experts en automatisation ont été placés en équipe de deux et ont exécuté différentes tâches à l'aide du SPI. Nous avons noté des informations pertinentes durant cette partie. Une experte ou un expert en automatisation a mentionné qu'il serait intéressant d'ajouter une fenêtre d'aide pour orienter les étudiantes et les étudiants débutants avec le SPI. Nous avons trouvé cette suggestion très pertinente et deux fenêtres d'aide ont été ajoutées. Elles sont montrées aux figures 21 et 22.

Une experte ou un expert en automatisation a aussi demandé s'il était possible d'avoir une animation autre qu'un feu de foyer pour montrer un brûleur industriel. Nous avons recherché dans la banque de symboles et nous avons sélectionné un échangeur de chaleur pour que la simulation soit plus réaliste. Cette modification est montrée au point quatre de la figure 20. Enfin, à la demande d'une experte ou d'un expert en automatisation, nous avons ajouté deux fenêtres permettant de voir la variation de valeurs importantes pour l'analyse des boucles de régulation par les étudiantes et les étudiants. Ces nouvelles fenêtres sont montrées aux figures 23 et 24. L'accès à ces fenêtres est possible à partir d'une touche montrée au point cinq de la figure 20.

3.2. Questions sur l'essai du SPI

Nous avons commencé cette partie en présentant les modifications effectuées sur le prototype initial n°1 pour mener au prototype initial n°2. Ensuite, nous avons eu une discussion de groupe avec les expertes et les experts en automatisation. Celle-ci est basée sur les 19 questions de l'entrevue clinique de groupe n°1 auxquelles nous avons ajouté des questions pour recueillir des informations supplémentaires. La fiche d'entrevue clinique de groupe n°2, montrée à l'annexe J, donne les détails du déroulement. Les questions et les réponses qui suivent ne concernent que le prototype initial n°2 du SPI.

3.2.1. *Question 1 : Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Une experte ou un expert en automatisation propose d'améliorer le contraste, les caractères et la couleur de fond sur la station de contrôle. Nous pouvons voir que cette modification, montrée au point un de la figure 20, rend la lecture des titres plus facile. Une experte ou un expert en automatisation souligne que certains caractères, comme ceux indiquant la vitesse de la pompe un, sont trop petits. Pour corriger cette lacune, nous avons changé les animations. Nous pouvons voir un de ces changements au point deux de la figure 20.

3.2.2. *Question 2 : Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est négative. Donc, elles et ils trouvent que la quantité d'animations est adéquate. Aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.3. *Question 3 : Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une seule page graphique?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est négative. Donc, elles et ils trouvent que la quantité d'information sur une seule page est correcte. Aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.4. *Question 4 : Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est négative. Donc, elles et ils trouvent que la quantité de polices de caractère est adéquate. Aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.5. *Question 5 : Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer et à faire fonctionner?*

Une présentation détaillée a été faite sur les composantes du prototype initial n°2 du SPI ainsi que sur son assemblage. La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.6. *Question 6 : Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.7. *Question 7 : Est-ce que le SPI est facile à utiliser? Est-il intuitif?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.8. *Question 8 : Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI sont bien identifiés?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Une experte ou un expert en automatisation demande s'il est possible d'identifier les boutons-poussoirs et les lampes-témoins de la station de contrôle. Cette suggestion est intéressante, car elle permet d'éclaircir, pour les étudiantes et les étudiants, le rôle des boutons-poussoirs et des lampes-témoins. La modification est montrée au point trois de la figure 20.

- 3.2.9. *Question 9 : Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé en ce qui concerne les couleurs et la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

- 3.2.10. *Question 10 : Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? Est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

- 3.2.11. *Question 11 : Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

- 3.2.12. *Question 12 : Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

- 3.2.13. *Question 13 : Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence Programmer des unités de commande?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Une experte ou un expert en automatisation propose de créer de nouveaux procédés simulant les stations Festo que nous avons au CRLT. Ceux-ci n'ont pas été créés au cours de la présente recherche.

3.2.14. *Question 14 : Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.15. *Question 15 : Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.16. *Question 16 : Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative. Une experte ou un expert en automatisation mentionne qu'on peut mélanger facilement des procédés réels avec des procédés simulés par le SPI.

3.2.17. *Question 17 : Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches que l'étudiante ou l'étudiant a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.18. *Question 18 : Est-ce que pour programmer les procédés du SPI, les étudiantes et les étudiants utilisent les mêmes outils que les spécialistes de l'industrie?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.2.19. *Question 19 : En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence Programmer des unités de commande, est-ce que cette compétence est entièrement atteignable à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?*

La réponse par les expertes et les experts en automatisation à cette question est affirmative et aucun autre commentaire n'a été formulé.

3.3. Modifications effectuées sur le SPI suite à l'entrevue clinique de groupe n°2

À la suite des données recueillies lors l'entrevue clinique de groupe n°2, nous avons modifié le procédé de fabrication de café du SPI ainsi que la station de contrôle. Dans la colonne *Réponses ou action du chercheur à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°2* du tableau à l'annexe L, on retrouve l'interprétation des données recueillies. Voici la liste des modifications effectuées sur le prototype initial n°2, lesquelles nous ont menés vers prototype initial n°3 du SPI dans le cadre de cette recherche.

1. Amélioration du contraste entre les caractères et la couleur de fond sur la station de contrôle (Modification un de la figure 20).
2. Augmentation de la grosseur des caractères sur des animations comme la vitesse de la pompe un (Modification deux de la figure 20).
3. Identification des boutons-poussoirs et des lampes-témoins de la station de contrôle (Modification trois de la figure 20).
4. Le symbole du brûleur a été remplacé par un autre plus vraisemblable (Modification quatre de la figure 20, figure 21 et figure 22).
5. Des fenêtres avec des graphes montrant les variations des valeurs importantes ont été ajoutées (Modification cinq de la figure 20, figure 23 et figure 24).

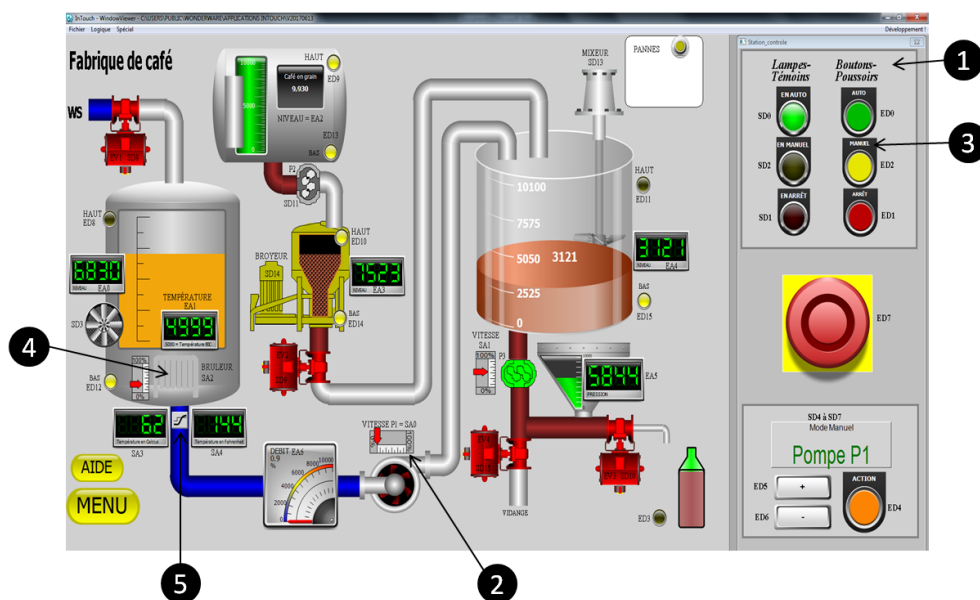


Figure 20 – Modifications effectuées sur le procédé de la fabrique de café à la suite de l’entrevue clinique de groupe n°2.
CRLT

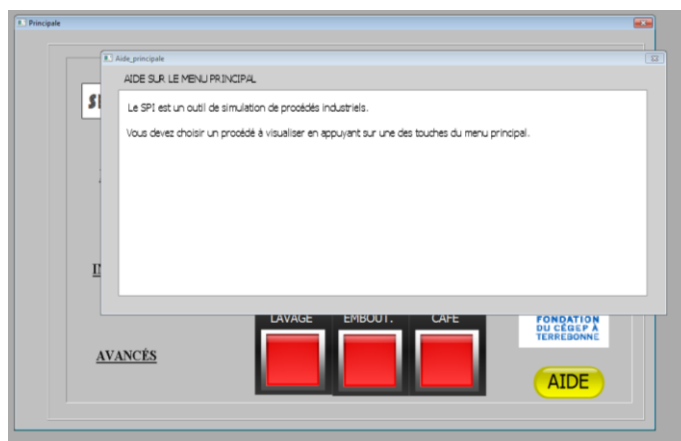


Figure 21 – Ajout d’une fenêtre d’aide à la fenêtre principale.
CRLT

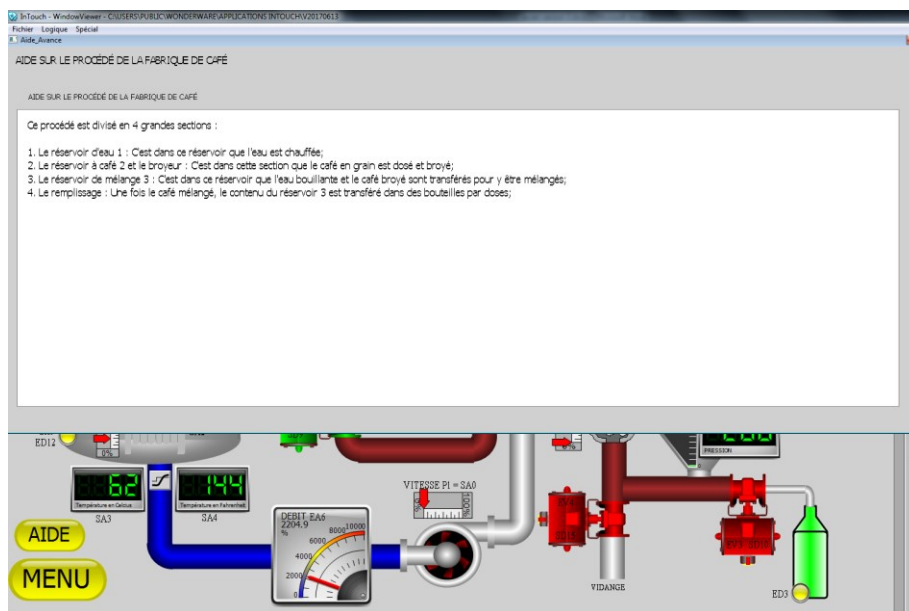


Figure 22 – Ajout d'une fenêtre d'aide à la fenêtre du procédé.
CRLT

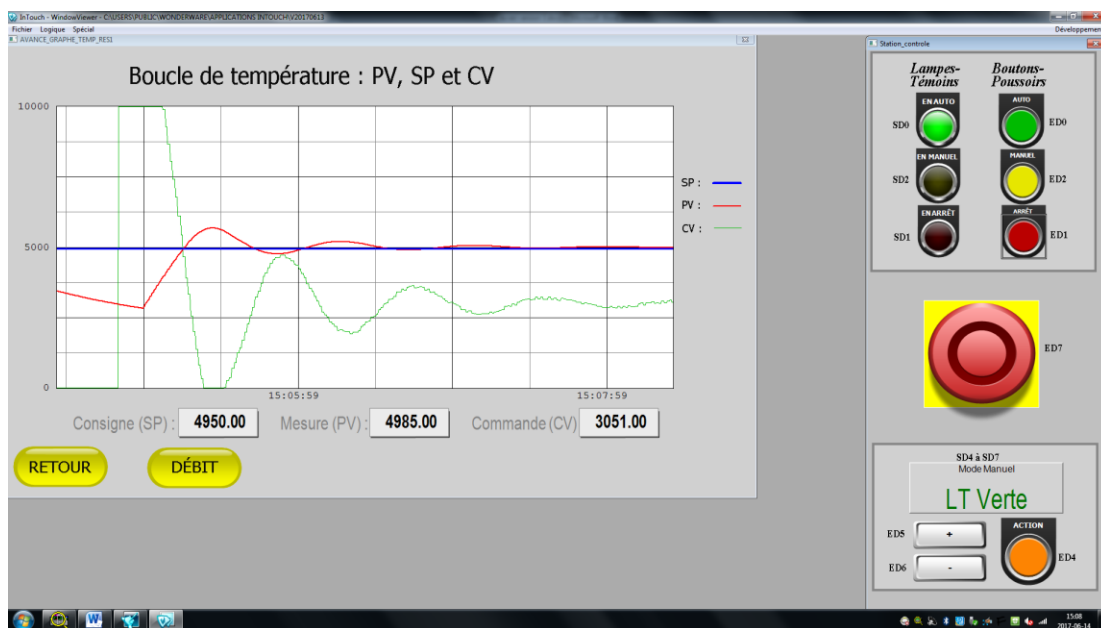


Figure 23 – Fenêtre avec courbes pour la boucle de température.
CRLT

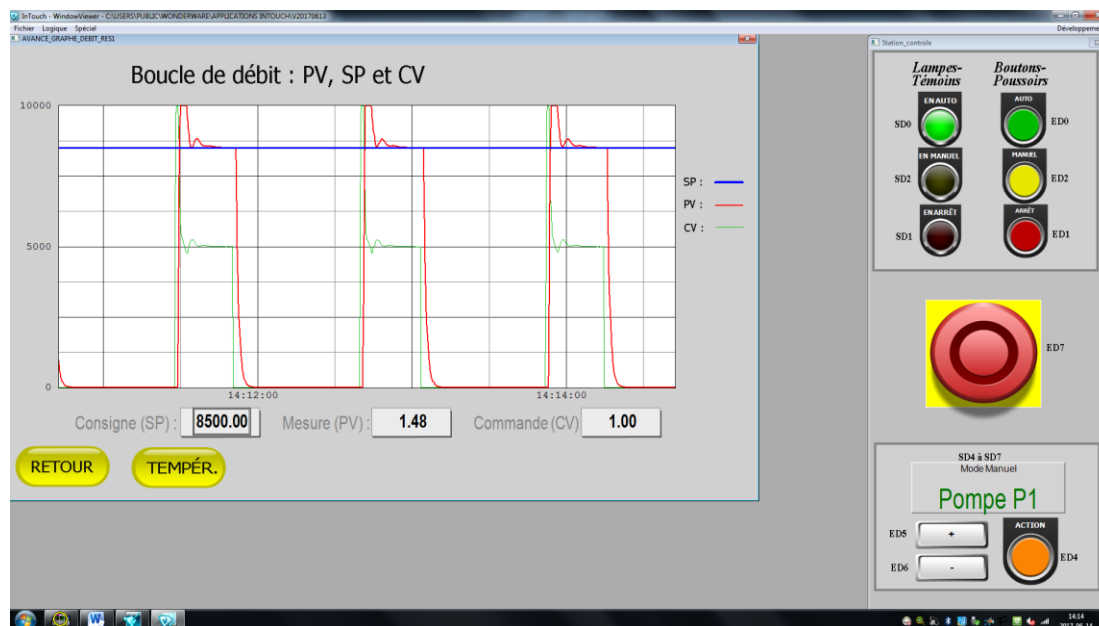


Figure 24 – Fenêtre avec courbes pour la boucle de débit.
CRLT

Les informations recueillies au cours des entrevues cliniques de groupe nous ont permis d'optimiser uniquement le procédé de production de café. Éventuellement, les améliorations appropriées aux neuf autres procédés du SPI seront également implantées.

Les critères de conception du SPI et les questions utilisées pour démarrer les discussions au cours des entrevues cliniques de groupe sont basées sur notre cadre de référence et plus particulièrement sur les rôles des étudiantes, des étudiants, des enseignantes et des enseignants tels que proposés par Raymond(2006), sur les critères de qualité basés sur un mode proactif de d'apprentissage tels que proposés par Lebrun (2007a) et Lebrun (2007b) ainsi que sur les objectifs d'apprentissage provenant du plan-cadre du cours 243-403TB – Programmation d'un régulateur. L'analyse des données recueillies est aussi basée sur ces différents axes.

Nous avons eu plusieurs résultats attendus, c'est-à-dire que beaucoup de commentaires ont porté sur l'aspect visuel du SPI comme la couleur, l'emplacement ou la clarté des animations. Par contre, nous avons eu quelques résultats non attendus comme la proposition de remplacer l'automate physique du SPI par un automate

virtuel. Ceci a grandement aidé à diminuer le volume et surtout le poids du SPI. Un autre résultat inattendu fut la suggestion d'une experte ou d'une experte en automation d'ajouter des graphes afin de permettre aux étudiantes et étudiants de voir la variation de données importantes pour le diagnostic de problème et l'ajustement de paramètres.

Ceci conclut le quatrième chapitre portant sur les résultats de la recherche. Nous y avons présenté le prototype initial n°1. Nous avons poursuivi avec l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue clinique de groupe n°1 ainsi que les modifications qui ont mené au prototype initial n°2. Enfin, nous avons analysé les données provenant de l'entrevue clinique de groupe n°2 ainsi que les améliorations qui nous ont menés vers le prototype initial n°3. Voici la conclusion de cet essai.

CONCLUSION

En TEI, nous avons besoin d'équipements à la fine pointe de la technologie pour que nos finissantes soient prêtes et nos finissants soient prêts à affronter le marché du travail. De plus, pour aider les étudiantes et les étudiants à varier les contextes d'apprentissage, le parc d'équipements que possède un département TEI doit représenter des procédés diversifiés comme on en retrouve dans l'industrie.

Dans cette recherche, nous avons développé et validé un SPI, tout en anticipant plusieurs retombées pour le département de TEI du CRLT. En effet, le SPI nous permet de diminuer le nombre d'étudiantes et d'étudiants à deux par équipe dans les cours liés à la programmation d'automates. La quantité et la diversité des applications possibles du SPI aideront les étudiantes et les étudiants dans leur apprentissage et notamment, dans la contextualisation des notions théoriques. Le SPI peut également faire économiser des milliers de dollars en entretien des bancs de test réels, car ces derniers seront moins sollicités.

Le cadre de référence de notre recherche s'appuie sur différentes bases issues de chercheurs en pédagogie. En premier lieu, nous avons fait la liste des aspects importants d'un logiciel de simulation avec lequel l'étudiante ou l'étudiant doit interagir de façon proactive tels que décrits par Lebrun (2007b). Ensuite, nous avons précisé des critères de conception du SPI basés sur le rôle des étudiantes et des étudiants ainsi que le rôle des enseignantes et des enseignants tels que présentés par Raymond (2006).

Pour exécuter cette recherche, nous avons utilisé la méthode en cinq étapes de recherche-développement proposée par Harvey et Loiselle (2009). Cette méthode est idéale pour le développement de nouveaux produits, car elle guide le chercheur pour trouver une solution à un problème, à concevoir la solution et à la valider.

Les deux objectifs spécifiques ont été atteints. En effet, la production d'un SPI pour aider à l'acquisition de la compétence Programmer des unités de commande a été la clef de voûte de notre recherche et a permis au département TEI de s'équiper

d'un nouvel outil pédagogique. De plus, le deuxième objectif qui est de valider le SPI auprès d'expertes et d'experts en automatisation a montré les avantages d'utiliser ce type d'instrument d'apprentissage dans des programmes d'études supérieures. Parmi les bénéfices apportés par le SPI, nous pouvons nommer la possibilité de diminuer le nombre des étudiantes et d'étudiants des équipes pour former des binômes, les faibles coûts d'acquisition et d'entretien par rapport à des bancs de test réels ainsi que la grande diversité des procédés simulés. Dans le cadre de cet essai, nous avons validé le SPI dans le contexte du programme TEI du CRLT. Le SPI pourrait être transférable vers d'autres programmes collégiaux ou universitaires qui ont besoin faire acquérir des compétences liées à la programmation de contrôleurs ou d'automates industriels.

Le SPI est très utile pour les étudiantes et les étudiants dans le but d'apprendre la programmation d'automate dans une grande variété de procédés industriels. Par contre, nous sommes conscients des limites de cet outil. En effet, la programmation d'une boucle de régulation n'est qu'une petite partie de l'ensemble des actions à faire pour mettre en marche une boucle de régulation réelle. Parmi les conditions non simulées ou non disponibles sur le logiciel, nous pouvons nommer l'ajustement des capteurs et actionneurs ou encore les perturbations intempestives qui peuvent se produire dans des procédés réels. Quand l'étudiante ou l'étudiant a atteint ces étapes d'intégration de plusieurs savoirs complexes, elle ou il doit travailler sur des bancs de test réels ou sur de véritables procédés.

Une limite potentielle du SPI est son intégration comme outil pédagogique. Comme tous logiciels, les enseignantes et les enseignants qui veulent l'utiliser dans leurs cours doivent prendre possession du SPI, c'est-à-dire apprendre son fonctionnement ainsi que les méthodes de modifications de procédés existants et le développement de nouveaux systèmes automatisés. Elles et ils auront à apprendre comment l'installer, le configurer, le faire fonctionner et finalement, le modifier pour l'adapter à leurs réalités.

Nous pouvons aussi souligner le caractère transférable des résultats de cette recherche. Nous pensons effectivement que le SPI peut aider à l'acquisition d'autres

compétences du programme TEI. Le SPI peut notamment supporter les étudiantes et les étudiants dans leur compréhension des normes en schématisation de procédé qui fait partie de la compétence 0438 - Analyser le fonctionnement d'un procédé. Il aide également à l'atteinte de la compétence 0439 - Faire fonctionner des systèmes de contrôle-commande en simulant différentes réaction d'un procédé. Le SPI peut même simuler des pannes aux étudiantes et étudiants qui doivent acquérir la compétence 043G - Effectuer le dépannage d'un système de contrôle-commande. Une fois intégré par les enseignantes et les enseignants du CRLT, le SPI pourrait être utilisé par les 80 étudiantes et étudiants de TEI. De plus, au Québec, il y a 11 cégeps qui offrent le programme TEI et qui pourraient donc être intéressés par ce nouvel outil TIC. Ces 11 cégeps comptabilisent ensemble entre 500 et 1000 étudiantes et étudiants. Nous pouvons ajouter à ces derniers, celles et ceux de la formation continue en TEI ainsi que les programmes dans lesquels on retrouve des cours liés à l'automatisation industrielle comme en Technique de génie mécanique, en Technologie agroalimentaire, en Technique du génie métallurgique, en Technique de génie industriel ou encore en Assainissement des eaux. À ce nombre, nous pouvons ajouter les étudiantes et les étudiants des différents programmes des centres de formation professionnelle qui offrent des cours en automatisation industrielle comme le programme d'Électromécanique. Enfin, les responsables des programmes universitaires de génie pourraient être intéressés par ce produit afin de présenter l'automatisation de procédés industriels à leurs étudiantes et étudiants. Le SPI peut avoir des retombés dépassant le CRLT. Il peut aider plusieurs centaines d'étudiantes et d'étudiants à acquérir une partie des compétences liées à l'automatisation industrielle incluant des travailleuses et des travailleurs qui se perfectionnent dans des programmes de formation continue.

Lebrun (2007a, p. 125) précise que « Ces logiciels peuvent être accompagnés de questionnaires interactifs, de jeux... Des éléments favorables à la motivation et à son maintien ». Il ajoute qu' « Un logiciel de simulation peut faire des miracles dans un dispositif pédagogique et être d'un faible intérêt dans un autre : il est important bien souvent que de tels outils soient accompagnés d'une notice, d'un livre du maître ou de l'élève donnant des idées quant à l'utilisation de ces derniers dans une séquence

d'apprentissage » (Lebrun, 2007a, p. 125). Alors, le sujet d'une future recherche pourrait être le développement d'activités pédagogiques supportées par le SPI et basées sur les théories de l'apprentissage en usage au collégial. Une deuxième recherche possible pourrait être le développement d'un prototype de contrôle. Ce dernier suit le prototype initial développé dans le cadre de notre recherche et qui mène vers la mise en marché d'un produit. Enfin, le développement d'un guide d'utilisation du SPI pourrait également être le sujet d'une autre recherche.

En conclusion, le SPI développé au cours de cet essai sera utilisé dès la prochaine session par des étudiantes et des étudiants du cours 243-403-TB – Programmation d'un régulateur industriel.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agbatchi, M. (2015). *Proposition d'une tâche d'évaluation en situation authentique dans le cours Calcul Différentiel au collégial*. Mémoire de maîtrise en éducation, Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- Barrette, C. (2011). Un voyage au pays des TIC. *Pédagogie collégiale*, 24(4), 49.
- Barrette, C. (2014), TIC803 Stratégies pédagogiques et TIC. Cours PERFORMA TIC803. Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke. [http://www.usherbrooke.ca/moodle-cours/course/view.php?id=2637] (Consulté le 16 août 2014)
- Beaudry et Rolland (2005). *Mécanique des fluides appliquée* (2^e éd.). Austin : Berger. (1^{ère} éd. 1995).
- Beauregard et Dru (2016). *Tableau d'analyse et d'intégration du profil TIC*. Site téléaccessible <http://pedagogic.mpelletier.profweb.ca/wp-content/uploads/2013/03/Profil-TIC-TEI.pdf> . Consulté le 24 novembre 2016.
- Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne. *Projet éducatif*. Site téléaccessible http://www.cegep-lanaudiere.qc.ca/fichiers/pages-tb/projet_educatif_ctb.pdf . Consulté le 14 septembre 2016.
- Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne. (2014). *Technologie de l'électronique industrielle 243.C0 Projet de formation*. Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne. Québec.
- Fortin, M. F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2^e éd.). Montréal : Chenelière Éducation. (1^{re} éd. 2005).

- Google. *Site sur les règles de confidentialité de Google Doc*. Site téléaccessible à l'adresse https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/fr/intl/fr/policies/privacy/google_privacy_policy_fr.pdf. Consulté le 2 mai 2016.
- Gouvernement du Canada. *Groupe consultatif interagences en éthique de la recherche*. Site téléaccessible à l'adresse <http://www.ger.ethique.gc.ca/fra/policy-politique/initiatives/tcps2-epts2/chapter7-chapitre7/>. Consulté 18 mai 2016
- Harvey, S. et Loiselle, J. (2007). La recherche-développement en éducation : fondements, apports et limites. *Recherches qualitatives*, 27(1), 40–59.
- Harvey, S. et Loiselle, J. (2009). Proposition d'un modèle de recherche-développement. *Recherches qualitatives*, 28(2), 95–117.
- Lauzier, I. (2006). *L'instrumentation virtuelle: Un environnement d'apprentissage en génie électrique* (Ph.D.). Université de Montréal (Canada), Canada. Consulté à l'adresse <http://search.proquest.com.ezproxy.usherbrooke.ca/docview/304922259/abstract>
- Larousse. Site téléaccessible à l'adresse <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>. Consulté le 6 octobre 2016
- Lebrun M. (2007a). *Des technologies pour enseigner et apprendre* (3^e éd.). Bruxelles: De Boeck Université (1^{re} éd. 1999).
- Lebrun, M. (2007b). *Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre. Quelle place pour les TIC dans l'éducation ?* (2^e éd.). Bruxelles: De Boeck Université (1^{re} éd. 2002).
- Lecavalier, J. (2016). Évitement des biais en recherche qualitative. Cours PERFORMA MEC801. Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke. https://www.usherbrooke.ca/moodle2-cours/pluginfile.php/629782/mod_resource/content/3/Evitement%20biais%20H2016.pdf (Consulté le 11 novembre 2016)
- Office québécois de la langue française. Le grand dictionnaire terminologique. Site téléaccessible à l'adresse <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/>. Consulté le 8 octobre 2016.
- Paillé, P. (2007). La méthodologie de recherche dans un contexte de recherche professionnalisante : douze devis méthodologiques exemplaires. *Recherches qualitatives*, 27(2), 133-151.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2012). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (3^e éd.). Paris : Éditions Armand Colin. (1^{re} éd. 2003).

- Raymond, D. (2006). *Qu'est-ce qu'apprendre et qu'est-ce qu'enseigner? Un tandem en piste* (1^{ère} éd.). Montréal : AQPC.
- Université de Sherbrooke (2014). *Politique institutionnelle en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains*. Université de Sherbrooke, Québec.
- Université de Sherbrooke (2015). *Guide de présentation du bloc recherche innovation et analyse critique de la maîtrise en enseignement au collégial*. Université de Sherbrooke, Québec.
- Van der Maren, J.-M. (2003). *La recherche appliquée en pédagogie. Des modèles pour l'enseignement* (2^e éd.). Bruxelles: De Boeck Université (1^{re} éd. 1999).
- Van der Maren, J.-M. (2014). *La recherche appliquée pour les professionnels: Éducation, paramédical, travail social. Méthodes de recherches pour l'éducation* (3^e éd.). Bruxelles: De Boeck Université (1^{re} éd. 1995).
- Viau, R. (2016). 12 questions sur l'état de la recherche scientifique sur l'impact des TIC sur la motivation à apprendre. Document téléaccessible à l'adresse <<http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/LME/lombard/motivation/viau-motivation-tic.html>> Consulté le 31 octobre 2016.

ANNEXE A

LA COMPÉTENCE PROGRAMMER DES UNITÉS DE COMMANDE

Objectif	Standard
Énoncé de la compétence Programmer des unités de commande.	Contexte de réalisation <ul style="list-style-type: none"> • À l'atelier ou sur les lieux de production. • À l'aide de la documentation technique et d'ouvrages de référence. • À l'aide d'ordinogrammes et d'autres modes de représentation des programmes. • À l'aide de programmes de contrôle-commande. • À l'aide des pilotes de communication. • À l'aide de logiciels de programmation et de configuration.
Éléments de la compétence	Critères de performance
1 Établir la communication avec l'unité de commande.	<ul style="list-style-type: none"> • Interprétation juste de la documentation technique. • Choix approprié des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'unité de commande. • Branchement correct de l'unité de commande à l'ordinateur. • Utilisation appropriée des logiciels de programmation et de configuration. • Configuration conforme des modules de l'unité de commande.
2 Configurer le réseau de champ.	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse juste des besoins de communication. • Interprétation juste de la documentation technique. • Consultation appropriée de personnes-ressources. • Analyse juste de la topologie des réseaux de champ. • Détermination correcte des protocoles de communication. • Configuration conforme des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. • Utilisation appropriée des utilitaires de configuration. • Vérification minutieuse du fonctionnement des éléments du réseau de champ.

- 3 Tester le fonctionnement des programmes.
 - Transfert complet des programmes et des données.
 - Détermination correcte des variables à tester.
 - Choix et utilisation appropriés des utilitaires de diagnostic.
 - Interprétation juste des ordigrammes et des autres modes de représentation des programmes.
 - Interprétation juste des langages de programmation.
 - Interprétation juste des stratégies de contrôle-commande.
 - Analyse juste du déroulement des programmes.
 - Détermination correcte de problèmes de fonctionnement.
 - Respect des règles de santé et de sécurité au travail.

- 4 Apporter les corrections nécessaires aux programmes.
 - Interprétation juste de la documentation technique et des ouvrages de référence.
 - Détermination correcte des modifications à apporter aux programmes et aux données.
 - Choix et utilisation appropriés des modes de fonctionnement de l'unité de commande.
 - Utilisation appropriée des langages de programmation.
 - Fonctionnement correct du programme.
 - Modification appropriée de la documentation des programmes.
 - Sauvegarde complète des données et des programmes.

ANNEXE B

PLAN-CADRE DU COURS 243-424-TB PROGRAMMATION D'UN AUTOMATE



PLAN-CADRE DE COURS

243-424-TB Programmation d'un automate

Validé par le comité de programme :

Avis favorable de la commission des études :

Adopté par le conseil d'établissement :

Titre du cours : Programmation d'un automate	Numéro de cours : 243-424-TB Pondération : 2-2-2
Énoncé et code de la compétence 1 : 043A Programmer des unités de commande. (P)	Organisation de la formation : - Espaces physiques requis : laboratoire d'électronique industrielle. - Matériel didactique, équipements et outils requis : ordinateurs portables, bancs d'essai. Contexte de réalisation : - À l'atelier ou sur les lieux de production. - À l'aide de la documentation technique et d'ouvrages de référence. - À l'aide d'ordinogrammes et d'autres modes de représentation des programmes. - À l'aide de programmes de contrôle-commande. - À l'aide des pilotes de communication. - À l'aide de logiciels de programmation et de configuration.
Programme : 243.C0 Durée du cours : 60 heures	Préalable : 243-303-TB (PR)

Compétence 1: 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
1. Établir la communication avec l'unité de commande.	<ul style="list-style-type: none"> Interprétation juste de la documentation technique. Choix approprié des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'unité de commande. Branchement correct de l'unité de commande à l'ordinateur. Utilisation appropriée des logiciels de programmation et de configuration. Configuration conforme des modules de l'unité de commande. 	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter de la documentation technique. Choisir des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'unité de commande. Brancher l'unité de commande à l'ordinateur. Utiliser des logiciels de programmation et de configuration. Configurer des modules de l'unité de commande. 	<ul style="list-style-type: none"> Les logiciels de programmation. Les logiciels de configuration. Les cartes d'entrée et de sortie. Les cartes d'entrée numérique. Les cartes de sortie numérique. La norme Ethernet. 	20 %
2. Configurer le réseau de champ.*				
3. Tester le fonctionnement des programmes.	<ul style="list-style-type: none"> Transfert complet des programmes et des données. Détermination correcte des variables à tester. 	<ul style="list-style-type: none"> Transférer des programmes et des données. Déterminer des variables à tester. Choisir et utiliser des utilitaires de 	<ul style="list-style-type: none"> Les logiciels de programmation. Les langages de programmation tels que le diagramme échelle (LD). Le Grafset sur banc d'essai. 	50 %

Adopté par le conseil d'établissement :

Compétence 1: 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
	<ul style="list-style-type: none"> • Choix et utilisation appropriés des utilitaires de diagnostic. • Interprétation juste des ordigrammes et des autres modes de représentation des programmes. • Interprétation juste des langages de programmation. • Interprétation juste des stratégies de contrôle-commande. • Analyse juste du déroulement des programmes. • Détermination correcte de problèmes de fonctionnement. • Respect des règles de santé et de sécurité au travail. 	<ul style="list-style-type: none"> • diagnostic. • Interpréter des Grafcet et d'autres modes de représentation des programmes. • Interpréter des langages de programmation. • Interpréter des stratégies de contrôle-commande. • Analyser le déroulement des programmes. • Déterminer des problèmes de fonctionnement. • Appliquer des règles de santé et de sécurité au travail. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le Grafcet de niveaux 1 et 2. • La simulation du déroulement d'un programme. 	
4. Apporter les corrections nécessaires aux programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Interprétation juste de la documentation technique et des ouvrages de référence. • Détermination correcte des modifications à apporter aux programmes et aux données. • Choix et utilisation appropriés des modes de fonctionnement de l'unité de commande. • Utilisation appropriée des langages de programmation. • Fonctionnement correct du programme. • Modification appropriée de la documentation des programmes. • Sauvegarde complète des données et des programmes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique et des ouvrages de référence. • Déterminer des modifications à apporter aux programmes et aux données. • Choisir des modes de fonctionnement de l'unité de commande. • Utiliser des langages de programmation. • Programmer un automate en utilisant la logique combinatoire et séquentielle. • Vérifier le fonctionnement du programme. • Réaliser la documentation de programmes. • Sauvegarder des données et des programmes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les modes de fonctionnement de l'unité de commande, notamment : <ul style="list-style-type: none"> - le mode programme; - le mode marche; - le mode moniteur. • Les langages de programmation tels que le diagramme échelle (LD). • La documentation technique des fabricants. • Les logiciels de programmation. • L'algèbre de Boole. • L'enregistrement de programmes sur supports numérisés. 	30 %

* Ces éléments de la compétence sont couverts par un ou d'autres cours.

Adopté par le conseil d'établissement :

Épreuve finale de cours	
L'épreuve finale de cours comporte deux évaluations :	
1. Examen écrit à réponses longues et courtes.	Conteste de réalisation : en classe; individuellement.
	Pondération : de 10 % à 15 %.
2. Examen pratique portant sur la programmation d'un automate.	Conteste de réalisation : en classe; individuellement.
	Pondération : de 30 % à 35 %.
Pondération de l'épreuve finale de cours : de 40 % à 50 %.	

ANNEXE C

PLAN-CADRE DU COURS 243-403-TB PROGRAMMATION D'UN RÉGULATEUR INDUSTRIEL


PLAN-CADRE DE COURS

243-403-TB Programmation d'un régulateur industriel

 Validé par le comité de programme :
 Avis favorable de la commission des études :
 Adopté par le conseil d'établissement :

Titre du cours : Programmation d'un régulateur industriel	Numéro de cours : 243-403-TB Pondération : 1-2-2
Énoncé et code de la compétence 1 : 043A Programmer des unités de commande. (P)	Organisation de la formation : - Espaces physiques requis : laboratoire d'électronique industrielle. - Matériel didactique, équipements et outils requis : ordinateurs portables, bancs de test en régulation de procédé, logiciels de programmation d'automate, logiciels d'acquisition de données de procédé. Contexte de réalisation : - À l'atelier ou sur les lieux de production. - À l'aide de la documentation technique et d'ouvrages de référence. - À l'aide d'ordinogrammes et d'autres modes de représentation des programmes. - À l'aide de programmes de contrôle-commande. - À l'aide des pilotes de communication. - À l'aide de logiciels de programmation et de configuration.
Programme : 243.C0 Durée du cours : 45 heures	Préable : 243-384-TB (PR), 243-424-TB (PR)

Compétence 1 : 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
1. Établir la communication avec l'unité de commande.	<ul style="list-style-type: none"> Interprétation juste de la documentation technique. Choix approprié des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'unité de commande. Branchement correct de l'unité de commande à l'ordinateur. Utilisation appropriée des logiciels de programmation et de configuration. Configuration conforme des modules de l'unité de commande. 	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter de la documentation technique. Choisir des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'élément de régulation. Brancher l'élément de régulation à l'ordinateur. Utiliser des logiciels de programmation et de configuration. Configurer les modules de l'unité de commande. 	<ul style="list-style-type: none"> Les logiciels de programmation d'automate dans un contexte de contrôle de procédés. La configuration de la communication entre l'automate programmable et l'ordinateur. Le branchement des modules analogiques de l'automate programmable. La configuration des modules analogiques de l'automate programmable. 	10 %
2. Configurer le réseau de champ.	<ul style="list-style-type: none"> Analyse juste des besoins de communication. Interprétation juste de la documentation technique. 	<ul style="list-style-type: none"> Analyser des besoins de communication. Interpréter de la documentation technique. Consulter des personnes-ressources. 	<ul style="list-style-type: none"> Les besoins de communication industrielle. Les personnes-ressources. Le protocole de communication Hart. La vérification du fonctionnement des 	10 %

Compétence 1 : 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
	<ul style="list-style-type: none"> Consultation appropriée de personnes-ressources. Analyse juste de la topologie des réseaux de champ. Détermination correcte des protocoles de communication. Configuration conforme des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. Utilisation appropriée des utilitaires de configuration. Vérification minutieuse du fonctionnement des éléments du réseau de champ. 	<ul style="list-style-type: none"> Analyser la topologie des réseaux de champ. Déterminer des protocoles de communication. Configurer des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. Utiliser des utilitaires de configuration. Vérifier le fonctionnement des éléments du réseau de champ. 	éléments de communication industrielle.	
3. Tester le fonctionnement des programmes.	<ul style="list-style-type: none"> Transfert complet des programmes et des données. Détermination correcte des variables à tester. Choix et utilisation appropriés des utilitaires de diagnostic. Interprétation juste des ordigrammes et des autres modes de représentation des programmes. Interprétation juste des langages de programmation. Interprétation juste des stratégies de contrôle-commande. Analyse juste du déroulement des programmes. Détermination correcte de problèmes de fonctionnement. Respect des règles de santé et de sécurité au travail. 	<ul style="list-style-type: none"> Transférer des programmes et des données. Déterminer des variables numériques et analogiques à tester. Choisir et utiliser des utilitaires de diagnostic. Interpréter des Grafcet, des schémas fonctionnels et d'autres modes de représentation des programmes dans un contexte de régulation. Interpréter des langages de programmation adaptés aux éléments de régulation. Interpréter des stratégies de contrôle-commande. Analyser le déroulement des programmes dans un contexte de régulation. Déterminer des problèmes de fonctionnement. 	<ul style="list-style-type: none"> Les outils de diagnostic d'un logiciel de programmation d'automate. Les schémas de procédés continus dans des systèmes contrôlés par des automates programmables. Les langages de programmation tels que : <ul style="list-style-type: none"> les boîtes fonctionnelles (FBD); le Grafcet. 	40 %

Compétence 1 : 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
		<ul style="list-style-type: none"> Appliquer des règles de santé et de sécurité au travail. 		
4. Apporter les corrections nécessaires aux programmes.	<ul style="list-style-type: none"> Interprétation juste de la documentation technique et des ouvrages de référence. Détermination correcte des modifications à apporter aux programmes et aux données. Choix et utilisation appropriés des modes de fonctionnement de l'unité de commande. Utilisation appropriée des langages de programmation. Fonctionnement correct du programme. Modification appropriée de la documentation des programmes. Sauvegarde complète des données et des programmes. 	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter de la documentation technique et des ouvrages de référence. Déterminer des modifications à apporter aux programmes, aux données et aux correcteurs PID. Choisir et utiliser des modes de fonctionnement de l'unité de commande. Utiliser des langages de programmation. Programmer des éléments de régulation. Vérifier le fonctionnement du programme. Modifier de la documentation de programmes. Sauvegarder des données et des programmes. 	<ul style="list-style-type: none"> Les langages de programmation tels que : <ul style="list-style-type: none"> les boîtes fonctionnelles (FBD); le Grafcet. Les critères de performance d'un procédé continu. Les caractéristiques des procédés continus. Les modes proportionnel, intégral et dérivé dans un contexte de programmation d'automate. Le bloc de programmation « PID ». Les outils d'ajustement. 	40 %

Épreuve finale de cours
Examen pratique prenant la forme d'une mise en situation et comportant les trois étapes suivantes :
<ol style="list-style-type: none"> 1. Analyser une boucle de régulation réelle dont l'élément de régulation est un automate programmable. 2. Déterminer expérimentalement les caractéristiques du procédé et les paramètres du régulateur. 3. Programmer et mettre au point la boucle de régulation selon des critères précis.
Contexte de réalisation : en classe; individuellement; à l'aide d'un logiciel de programmation d'automate.
Pondération de l'épreuve finale de cours : de 50 % à 60 %.

ANNEXE D

PLAN-CADRE DU COURS 243-444-TB PROGRAMMATION AVANCÉE D'AUTOMATE

Adopté par le conseil d'établissement :

Titre du cours : Programmation avancée d'un automate	Numéro de cours : 243-444-TB Pondération : 2-2-2
Énoncé et code de la compétence 1 : 043A Programmer des unités de commande. (P)	Organisation de la formation : - Espaces physiques requis : laboratoire d'électronique industrielle. - Matériel didactique, équipements et outils requis : ordinateurs portables, bancs de test, logiciels de programmation d'automate. Contexte de réalisation : - À l'atelier ou sur les lieux de production. - À l'aide de la documentation technique et d'ouvrages de référence. - À l'aide d'ordinogrammes et d'autres modes de représentation des programmes. - À l'aide de programmes de contrôle-commande. - À l'aide des pilotes de communication. - À l'aide de logiciels de programmation et de configuration.
Programme : 243.C0 Durée du cours : 60 heures	Préalable : 243-424-TB (PR)

Compétence 1 : 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
1. Établir la communication avec l'unité de commande.*				
2. Configurer le réseau de champ.	<ul style="list-style-type: none"> Analyse juste des besoins de communication. Interprétation juste de la documentation technique. Consultation appropriée de personnes-ressources. Analyse juste de la topologie des réseaux de champ. Détermination correcte des protocoles de communication. Configuration conforme des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. 	<ul style="list-style-type: none"> Analyser des besoins de communication. Interpréter de la documentation technique. Consulter des personnes-ressources. Analyser la topologie des réseaux de champ. Déterminer des protocoles de communication. Configurer des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. Utiliser des utilitaires de configuration. Vérifier le fonctionnement des éléments 	<ul style="list-style-type: none"> Les besoins de communication industrielle. Les personnes-ressources. Les bus de terrain et les réseaux de communication industriels tels que : <ul style="list-style-type: none"> le bus DeviceNet; le réseau Ethernet. Les logiciels de configuration de réseau et bus de communication tels que : <ul style="list-style-type: none"> RS Network; CX-Programmer. La vérification du fonctionnement des éléments de communication industrielle. 	25 %

Adopté par le conseil d'établissement :

Compétence 1 : 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation appropriée des utilitaires de configuration. Vérification minutieuse du fonctionnement des éléments du réseau de champ. 	du réseau de champ.		
3. Tester le fonctionnement des programmes.	<ul style="list-style-type: none"> Transfert complet des programmes et des données. Détermination correcte des variables à tester. Choix et utilisation appropriés des utilitaires de diagnostic. Interprétation juste des ordigrammes et des autres modes de représentation des programmes. Interprétation juste des langages de programmation. Interprétation juste des stratégies de contrôle-commande. Analyse juste du déroulement des programmes. Détermination correcte de problèmes de fonctionnement. Respect des règles de santé et de sécurité au travail. 	<ul style="list-style-type: none"> Transférer des programmes et des données. Déterminer des variables numériques et analogiques à tester. Choisir et utiliser des utilitaires de diagnostic. Interpréter des Grafset, des Gemma et d'autres modes de représentation des programmes. Interpréter des langages de programmation. Interpréter des stratégies de contrôle-commande. Analyser le déroulement des programmes. Déterminer des problèmes de fonctionnement. Connaître et appliquer des règles de santé et de sécurité au travail. 	<ul style="list-style-type: none"> Les logiciels de programmation d'automate tels que : <ul style="list-style-type: none"> - CX-Programmer; - RS Logix 5000. Les variables analogiques et numériques. L'interprétation de modes de représentation de programmes tels que : <ul style="list-style-type: none"> - le Grafset; - le Gemma. Les langages de la norme IEC, notamment : <ul style="list-style-type: none"> - le diagramme échelle (LD); - le Grafset (SFC) - le mnémonique (IL); - l'évolué (ST); - le block fonction (FBD). L'interprétation de stratégies de contrôle-commande. Les outils de base de dépannage. Les règles de santé et de sécurité au travail. 	50 %
4. Apporter les corrections nécessaires aux programmes.	<ul style="list-style-type: none"> Interprétation juste de la documentation technique et des ouvrages de référence. Détermination correcte des modifications à apporter aux programmes et aux données. Choix et utilisation appropriés des modes de fonctionnement de l'unité de commande. 	<ul style="list-style-type: none"> Interpréter de la documentation technique et des ouvrages de référence. Déterminer des modifications à apporter aux programmes et aux données. Choisir et utiliser des modes de fonctionnement de l'unité de commande. Vérifier le fonctionnement du programme. Programmer l'automate. Utiliser les langages de programmation de 	<ul style="list-style-type: none"> La documentation de référence. La modification de programmes complexes. Les modes de fonctionnement de l'unité de commande. Les critères de sélection des langages IEC. Les outils de vérification des logiciels de programmation d'automate. La programmation des langages de la norme IEC. 	25 %

Adopté par le conseil d'établissement :

Compétence 1 : 043A - Programmer des unités de commande.				
Éléments de la compétence	Critères de performance	Objectifs d'apprentissage	Contenus essentiels	Durée suggérée en %
	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation appropriée des langages de programmation. Fonctionnement correct du programme. Modification appropriée de la documentation des programmes. Sauvegarde complète des données et des programmes. 	<ul style="list-style-type: none"> la norme IEC. Modifier la documentation de programmes. Sauvegarder des données et des programmes. 	<ul style="list-style-type: none"> La documentation d'un programme d'automate complexe. La sauvegarde des données et des programmes d'automate. 	

* Ces éléments de la compétence sont couverts par un ou d'autres cours.

Épreuve finale de cours.

Examen pratique prenant la forme d'une mise en situation et pouvant porter sur l'analyse d'un programme complexe ainsi que la mise au point d'un système automatisé complexe selon des critères précis.

Contexte de réalisation : en classe; individuellement; à l'aide d'un logiciel de programmation d'automate.

Pondération de l'épreuve finale de cours : de 40 % à 50 %.

ANNEXE E

LISTE DES CRITÈRES DE CONCEPTION DU SPI

Liste des critères de conception du SPI

Critères	Fonctionnalités dans le SPI
Lisibilité des écrans	Les représentations graphiques des différents éléments du procédé devront être faciles à comprendre. Il faudra éviter d'avoir trop d'animations en même temps.
Densité de l'information	Il faut éviter de mettre trop d'informations sur une seule page graphique.
Utilisation harmonieuse des polices de caractères	Éviter de mélanger trop de polices de caractères.
La malléabilité de l'environnement	Développer le SPI pour qu'il soit facile de le mettre en place, de le préparer, de le faire fonctionner.
Une trace du travail	Comme les étudiantes et les étudiants doivent programmer la logique nécessaire au bon fonctionnement d'un procédé, cette programmation servira de trace pour évaluer un travail.
Facilité à piloter le logiciel	Développer le SPI pour qu'il soit facile d'utilisation. Par exemple, lors d'un changement d'activité, que le passage d'un procédé à un autre se fasse facilement. Ceci peut sortir du cadre du SPI et se tourner plutôt vers la production de documents d'activités clairs sur l'activité.
Le rôle des menus et des boutons	Bien identifier les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI.
Représentation dynamique et visuelle du résultat	Il est très important que les animations soient représentatives d'un vrai procédé autant au niveau des couleurs que de la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit.
La qualité, la pertinence, la facilité de décodage de la représentation du résultat	Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans le contrôleur n°1, il est important que le résultat soit cohérent, c'est-à-dire que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé.
Les limites de l'environnement informatique soient clairement précisées	Les limites de l'environnement informatique doivent être expliquées dans les documents qui accompagnent les activités pédagogiques.

Ces logiciels peuvent être accompagnés de questionnaires interactifs, de jeux... Des éléments favorables à la motivation et à son maintien	Différentes activités peuvent être développées avec le SPI. Celles-ci doivent être accompagnées de documents qui donnent les détails des tâches à accomplir.
Des tâches significatives, complexes, complètes et globales	Les procédés du SPI sont complexes et l'enseignante ou l'enseignant peut créer des tâches significatives et complexes, c'est-à-dire, des tâches qui font du sens pour les étudiantes et les étudiants et au cours desquels, ils auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition.
Appel aux connaissances antérieures de l'apprenant	Le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures. En effet, au cours d'une activité avec le SPI et avant de passer à la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation. Des tâches qu'il a exécutées dans des contextes différents dans d'autres cours.
Le contexte de réalisation est proche de la réalité	Pour programmer les procédés du SPI, les étudiantes et les étudiants utilisent les mêmes outils que les spécialistes de l'industrie. De plus, les écrans graphiques montrent des représentations proches de la réalité et qui ont été créées à l'aide d'un logiciel très utilisé dans l'industrie.

CRLT

ANNEXE F

DÉROULEMENT ET ÉCHÉANCIER

Déroulement et échéancier

Étape	Détails	Date
1	Origine de la recherche (problématique) <ul style="list-style-type: none"> • Problème à résoudre (Problématique) • Idée de développement : Simulateur de procédés industriels • Objectif général • Intérêts de la recherche 	De septembre 2015 à décembre 2016 (Fin du cours MEC802)
2	Référentiel (Cadre de référence) <ul style="list-style-type: none"> • Concepts importants de la recherche • Recension des écrits • Élaboration de l'idée • Objectifs spécifiques 	De janvier 2016 à décembre 2017 (Mise à jour tout au long de la recherche)
3	Méthodologie <ul style="list-style-type: none"> • Méthodes et outils • Création et validation d'une grille d'entrevue et d'un canevas investigatif de départ (S1-2016 à S52-2016) • Outils de collecte de données (S1-2016 à S52-2016) • Éthique (S1-2016 à S36-2016) 	De septembre 2015 à décembre 2016 (Fin du cours MEC802)
4 et 5	Opérationnalisation et analyse des résultats <ul style="list-style-type: none"> • Conception du SPI (S3-2016 à S52-2016) • Réalisation d'un premier prototype (S12-2016 à S52-2016) • Création et validation d'une fiche d'entrevue clinique de groupe (S22-2016 à S52-2016) • Analyse des résultats (en parallèle avec les entrevues, car nous appliquons une méthode itérative) (S1-2017 à S12-2017) • Mise à jour des fiches d'entrevues et du canevas investigatif (S35-2017 à S52-2017) • Validation du SPI : Entrevues cliniques de groupe (S13-2017 à S20-2017) • Analyse des résultats (en parallèle avec les entrevues, car nous appliquons une méthode itérative) (S13-2017 à S20-2017) • Mise à jour des fiches d'entrevues et du canevas investigatif (S13-2017 à S20-2017) • Rédaction et diffusion du rapport (S21-2017 à S52-2017) 	De mars 2016 à décembre 2017

ANNEXE G

CANEVAS INVESTIGATIF

Canevas investigatif

Questions pour l'analyse	Questions pour les entrevues cliniques
Est-ce que la lisibilité des écrans est correcte?	1. Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?
Est-ce que la densité de l'information est correcte?	2. Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps? 3. Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une page graphique en même temps ?
Est-ce qu'il y a une utilisation harmonieuse des polices de caractères?	4. Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?
Est-ce que l'environnement du SPI possède une bonne malléabilité?	5. Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer, à faire fonctionner?
Est-ce que le SPI permet de garder une trace du travail?	6. Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?
Est-ce que le SPI est facile à piloter?	7. Est-ce que le SPI est facile d'utilisation, est-il intuitif? • Par exemple, lors d'un changement d'activité, est-ce que le passage d'un procédé à un autre se fait facilement?
Est-ce le rôle des menus et des boutons est clair?	8. Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de bien naviguer dans le logiciel du SPI? Sont-ils bien identifiés?

Est-ce que la représentation dynamique et visuelle du résultat est correcte?	9. Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé autant au niveau des couleurs que de la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?
Est-ce que la qualité, la pertinence, la facilité de décodage de la représentation du résultat sont correctes?	10. Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? C'est-à-dire est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?
Est-ce que les limites de l'environnement informatique sont clairement précisées ?	11. Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires? <ul style="list-style-type: none"> • Est-ce que l'outil ou le document qui décrit l'activité précise les actions, ajustements ou autres qu'un technicien aurait à faire sur un vrai procédé, mais pas sur le SPI?
Est-ce que le SPI a été accompagné de documents clairs? D'éléments favorables à la motivation et à son maintien?	12. Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?
Est-ce que le SPI permet d'aider à l'acquisition de la compétence Programmer des unités de commande ?	13. Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence Programmer des unités de commande?

Est-ce que le SPI permet aux étudiantes et aux étudiants d'exécuter des tâches significatives, complexes, complètes et globales?	<p>14. Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants?</p> <p>15. Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?</p>
Est-ce que le SPI permet de faire appel aux connaissances antérieures des étudiantes et des étudiants?	<p>16. Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Par exemple, est-ce qu'au cours d'une activité avec le SPI et avant de passer à la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation? <p>17. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches qu'il a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?</p>
Est-ce que le SPI permet l'exécution de tâches dans un contexte de réalisation près de la réalité?	<p>18. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches qu'il a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?</p>
Est-ce que le SPI aide à l'acquisition des éléments de la compétence Programmer des unités de commande ?	<p>19. En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence Programmer des unités de commande, est-ce qu'il y en a qui ne seraient pas atteignables à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?</p>

ANNEXE H

SÉCURITÉ DES DONNÉES SUR LE SITE DE GOOGLE DOC

Sécurité des données

Nous mettons en œuvre toutes les mesures de sécurité nécessaires pour protéger Google ainsi que nos utilisateurs contre tout accès et toute modification, divulgation ou destruction non autorisés des données que nous détenons. En particulier :

- Nous chiffons la plupart de nos services à l'aide de la technologie SSL.
- Nous vous proposons une validation en deux étapes lorsque vous accédez à votre Compte Google et une fonction de Navigation Sécurisée dans Google Chrome.
- Nous menons des audits internes sur la collecte, le stockage et le traitement des données, y compris les mesures de sécurité physiques, afin d'empêcher tout accès non autorisé à nos systèmes.
- L'accès aux données personnelles est strictement réservé aux salariés, sous-traitants et agents de Google qui ont

besoin d'y accéder afin de les traiter en notre nom. Ces personnes sont soumises à de strictes obligations de confidentialité et sont susceptibles de faire l'objet de sanctions disciplinaires pouvant aller jusqu'au licenciement en cas de manquement à ces obligations.

ANNEXE I

FICHE D'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°1

Par Jean-Bernard Pilon

Basé sur le modèle de Gérard Boutin (2000)

Production et validation d'un simulateur de procédés industriels pour le programme Technologie de l'électronique industrielle.

Renseignements généraux

Date de l'entretien : 17 janvier 2017

Lieu : CRLT

Nom de l'intervieweur : Jean-Bernard Pilon (chercheur)

Nom des interviewés : _____, _____, _____,
 _____, _____, _____,

Préparation à l'entrevue clinique de groupe n°1

Voici les informations importantes à savoir avant l'entrevue clinique de groupe n°1 :

1. Buts de l'entrevue : Déterminer si le simulateur de procédés industriels peut aider à l'atteinte de la compétence *Programmer des unités de commande*;
2. Sujet à l'étude : le simulateur de procédés industriels (SPI);
3. Horaire de l'entrevue :
 - A. 9h00 à 9h15 : Présentation de la recherche;
 - B. 9h15 à 11h00 : Essai du simulateur;
 - C. 11h00 à 12h00 : Entrevue;
4. Lieu : Cégep de Terrebonne, local A164;
5. Formulaire de consentement pour l'experte ou l'expert en automatisation;
6. Matériel technique pour l'entrevue;

7. Rappels aux expertes et experts en automatisation ;
 - A. Sur la confidentialité de la collecte de données;
 - B. De faire abstraction que je suis un collègue;
 - C. Et de valider le SPI comme c'était un produit du marché.
8. Énumérer et expliquer les critères de conception du SPI (Annexe E);
9. Rappeler les éléments de compétence et les objectifs d'apprentissage de la compétence Programmer des unités de commande.

Éléments de compétence et objectifs d'apprentissage liés à la compétence
Programmer des unités de commande

Éléments de compétence	Objectifs d'apprentissage
Établir la communication avec l'unité de commande.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique. • Choisir des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'élément de régulation. • Brancher l'élément de régulation à l'ordinateur. • Utiliser des logiciels de programmation et de configuration. • Configurer les modules de l'unité de commande.
Configurer le réseau de champ.	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser les besoins de communication. • Interpréter de la documentation technique. • Consulter des personnes-ressources. • Analyser la topologie des réseaux de champ. • Déterminer des protocoles de communication. • Configurer des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. • Utiliser des utilitaires de configuration. • Vérifier le fonctionnement des éléments du réseau de champ.

Tester le fonctionnement des programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Transférer des programmes et des données. • Déterminer des variables numériques et analogiques à tester. • Choisir et utiliser des utilitaires de diagnostic. • Interpréter des graphes, des schémas fonctionnels et d'autres modes de représentation des programmes dans un contexte de régulation. • Interpréter des langages de programmation adaptés aux éléments de régulation. • Interpréter des stratégies de contrôle-commande. • Analyser le déroulement des programmes dans un contexte de régulation. • Déterminer des problèmes de fonctionnement. • Appliquer des règles de santé et de sécurité au travail.
Apporter les corrections nécessaires aux programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique et des ouvrages de référence. • Déterminer des modifications à apporter aux programmes, aux données et aux correcteurs PID. • Choisir et utiliser des modes de fonctionnement de l'unité de commande. • Utiliser des langages de programmation. • Programmer des éléments de régulation. • Vérifier le fonctionnement du programme. • Sauvegarder des données et des programmes.

10. Vérifier que les expertes et les experts en automatisation ont saisi les visées de la démarche;

11. Préciser les limites du SPI :

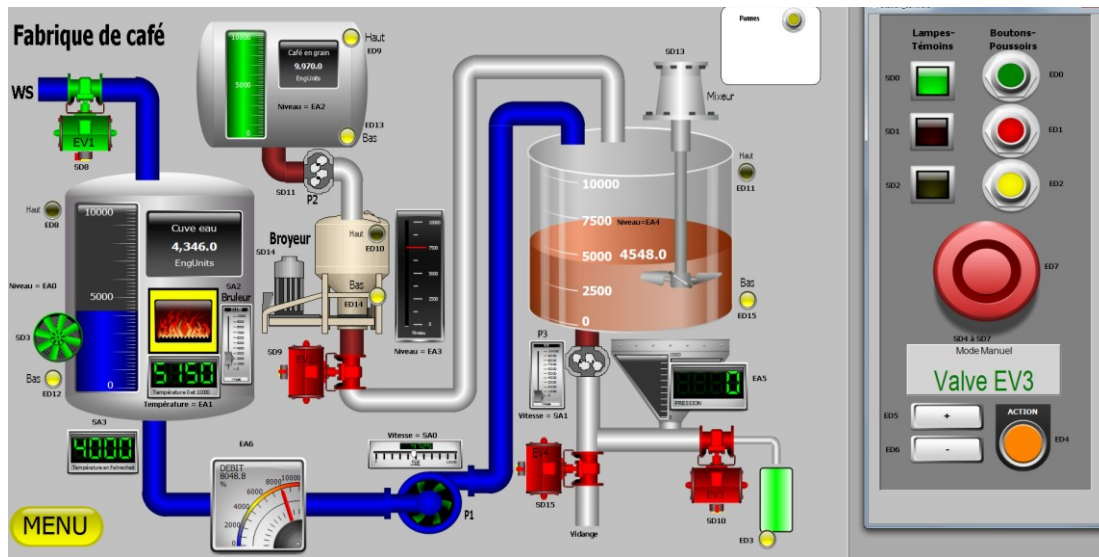
- a) Comme cet outil a pour but premier de simuler des procédés industriels qui seront programmés par les étudiantes et les étudiants et non la simulation de phénomènes physiques comme la pression ou le débit, ceux-ci peuvent ne pas être conformes à la réalité;

- b) Parmi les conditions non simulées ou non disponibles sur le logiciel, nous pouvons nommer l'ajustement des capteurs et actionneurs ou encore les perturbations intempestives qui peuvent se produire dans des procédés réels. Quand l'étudiante ou l'étudiant sera rendu à ces étapes d'intégration de plusieurs savoirs complexes, elle ou il devra travailler sur des bancs de test réels ou sur de véritables procédés;
- c) Enfin, les composantes de sécurité comme un arrêt d'urgence ne sont pas connectées avec des fils comme dans un vrai procédé, mais seulement programmées.

Entrevue clinique de groupe n°1

Voici les informations concernant le déroulement de l'entrevue clinique de groupe n°1 :

1. Démarrer le simulateur;
2. Sélectionner le procédé Café;



Procédé de la fabrique de café

3. Ce procédé est composé des entrées et des sorties suivantes :

Entrées et sorties composants le procédé de la fabrique de café

Entrées numériques	Entrées analogiques	Sorties numériques	Sorties analogiques
Bouton-poussoir vert : ED0	Niveau du réservoir 1: EA0	Lampe-témoin verte : SD0	Pompe P1 : SA0
Bouton-poussoir rouge : ED1	Température réservoir 1: EA1	Lampe-témoin rouge : SD1	Pompe P3 : SA1
Bouton-poussoir jaune : ED2	Niveau du réservoir 2: EA2	Lampe-témoin jaune : SD2	Brûleur : SA2
Présence bouteille remplissage : ED3	Niveau du broyeur: EA3	Ventilateur réservoir 1 :SD3	Afficheur en Celsius: SA3
Bouton-poussoir manuel : ED4	Niveau du réservoir 3: EA4	Afficheur Bit 0 : SD4	Afficheur en Fahrenheit: SA4
Bouton-poussoir « + » : ED5	Pression remplissage : EA5	Afficheur Bit 1 : SD5	

Bouton-poussoir « - » : ED6	Débit transfert eau : EA6	Afficheur Bit 2 : SD6	
Arrêt d'urgence : ED7		Afficheur Bit 3 : SD7	
Haut niveau du réservoir 1: ED8		Vanne EV1 : SD8	
Haut niveau du réservoir 2 : ED9		Vanne EV2 : SD9	
Haut niveau du broyeur : ED10		Vanne EV3 : SD10	
Haut niveau du réservoir 3 : ED11		Pompe P2 : SD11	
Bas niveau du réservoir 1 : ED12		Libre : SD12	
Bas niveau du réservoir 2 : ED13		Mélangeur : SD13	
Bas niveau du broyeur : ED14		Broyeur : SD14	
Bas niveau du réservoir 3 : ED15		Vanne EV4 : SD15	

4. Mise en contexte :

Un procédé de fabrication de café est présentement en fonction. À l'aide du logiciel RSLogix 5000 de Rockwell Automation, effectuer les tâches suivantes :

A. Tâche 1 : Établir la communication avec l'unité de commande;

1. Ouvrir le programme 243506_programme_etudiant_cafe;
2. Sélectionner l'adresse de l'automate cible avec RSWho;
3. Entrer en ligne avec l'automate et charger le programme si nécessaire;
4. Mettre l'automate en mode Run;

5. Quels modules d'entrées et de sorties ont été configurés dans le programme de l'automate?
- A. _____
 - B. _____
 - C. _____
 - D. _____
6. Quels formats de signaux sont utilisés par les entrées et les sorties?
- A. Entrées numériques : _____
 - B. Sorties numériques : _____
 - C. Entrées analogiques : _____
 - D. Sorties analogiques : _____
7. Quelles sont les valeurs numériques équivalentes aux signaux des entrées et des sorties ?
- A. Entrées numériques : _____
 - B. Sorties numériques : _____
 - C. Entrées analogiques : _____
 - D. Sorties analogiques : _____
8. Quel est le modèle du processeur de l'automate?

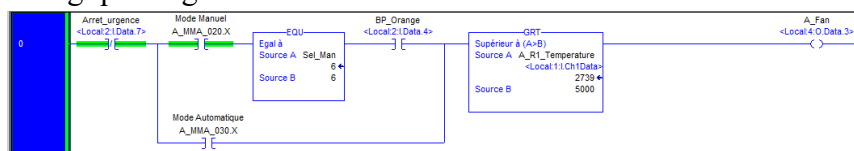
B. Tâche 2 : Tester le fonctionnement des programmes

1. Déterminer le langage de programmation utilisé pour programmer la séquence de remplissage du réservoir : _____
2. Déterminer le langage de programmation utilisé pour programmer les sorties : _____
3. Quelle est l'utilité des différents graficets?
 - A. _____
 - B. _____
 - C. _____
 - D. _____
 - E. _____
 - F. _____
 - G. _____

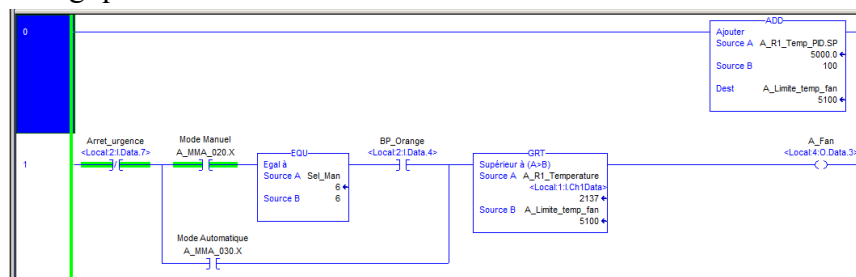
C. Tâche 3 : Apporter les corrections nécessaires aux programmes :

1. Aller dans les sorties du réservoir 1;
2. Quelles sont les conditions pour activer le ventilateur SD3?
3. _____
4. En restant en ligne, mettre de l'eau dans le réservoir 1 jusqu'à ce que le bas niveau détecte du produit;
5. Modifier les conditions pour activer le ventilateur lorsque la température dépasse un degré Celsius au-dessus de la consigne du bloc PID;

Logique originale :



Logique modifiée :



6. Vérifier le fonctionnement de la modification en faisant chauffer l'eau en mode manuel;
7. Entrer un commentaire dans l'échelon pour expliquer la nouvelle logique d'activation du ventilateur;
8. Aller au bloc PID du contrôle de température et changer le gain proportionnel (Kp) pour la valeur 10;
9. Ouvrir le graphique Temperature_Reservoir dans l'outil Tendances de RSLogix 5000 et cliquer sur exécuter;
10. Que se passe-t-il au niveau de la boucle de température et pourquoi?
11. _____
12. Sauvegarder le programme sous le format suivant : RemplissageNomPrenomV(mettre la date dans le format aaaammjj).

D. Questions qui suivent les manipulations

1. Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?
2. Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps?
3. Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une seule page graphique?
4. Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?
5. Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer, à faire fonctionner?
6. Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?
7. Est-ce que le SPI est facile d'utilisation, est-il intuitif?
8. Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI sont bien identifiés?
9. Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé autant au niveau des couleurs que de la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?
10. Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? C'est-à-dire est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?
11. Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires?
12. Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?
13. Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence *Programmer des unités de commande*?
14. Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants?
15. Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?
16. Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures?
 - Par exemple, est-ce qu'au cours d'une activité avec le SPI et avant de passer à la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation?
17. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches qu'il a déjà exécutées dans des d'autres cours, mais dans des contextes différents?

18. Est-ce que pour programmer les procédés du SPI, les étudiantes et les étudiants utilisent les mêmes outils que les spécialistes de l'industrie?
19. En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence *Programmer des unités de commande*, est-ce qu'il y en a qui ne seraient pas atteignables à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?

ANNEXE J

FICHE D'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N°2

Par Jean-Bernard Pilon

Basé sur le modèle de Gérard Boutin (2000)

Production et validation d'un simulateur de procédés industriels pour le programme Technologie de l'électronique industrielle.

Renseignements généraux

Date de l'entretien : 1^{er} juin 2017

Lieu : CRLT

Nom de l'intervieweur : Jean-Bernard Pilon (chercheur)

Nom des interviewés : _____, _____, _____,
 _____, _____, _____,

Préparation à l'entrevue clinique de groupe n°2

Voici les informations importantes à savoir avant l'entrevue clinique de groupe n°2 :

1. Buts de l'entrevue : Déterminer si le simulateur de procédés industriels peut aider à l'atteinte de la compétence *Programmer des unités de commande*;
2. Sujet à l'étude : le simulateur de procédés industriels (SPI);
3. Horaire de l'entrevue :
 - A. 13h00 à 13h15 : Présentation de la recherche;
 - B. 13h15 à 13h45 : Présentation des modifications apportées au SPI;
 - C. 13h45 à 14h45 : Essai du simulateur;
 - D. 14h45 à 15h30 : Entrevue;
4. Lieu : Cégep de Terrebonne, local A164;
5. Formulaire de consentement pour l'experte ou l'expert en automatisation;
6. Matériel technique pour l'entrevue;

7. Rappels aux expertes et experts en automatisation ;
 - A. Sur la confidentialité de la collecte de données;
 - B. De faire abstraction que je suis un collègue;
 - C. Et de valider le SPI comme c'était un produit du marché.
8. Énumérer et expliquer les critères de conception du SPI (Annexe E);
9. Rappeler les éléments de compétence et les objectifs d'apprentissage de la compétence Programmer des unités de commande.

Éléments de compétence et objectifs d'apprentissage liés à la compétence
Programmer des unités de commande

Éléments de compétence	Objectifs d'apprentissage
Établir la communication avec l'unité de commande.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique. • Choisir des protocoles de communication entre l'ordinateur et l'élément de régulation. • Brancher l'élément de régulation à l'ordinateur. • Utiliser des logiciels de programmation et de configuration. • Configurer les modules de l'unité de commande.
Configurer le réseau de champ.	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser les besoins de communication. • Interpréter de la documentation technique. • Consulter des personnes-ressources. • Analyser la topologie des réseaux de champ. • Déterminer des protocoles de communication. • Configurer des modules de communication et des éléments présents sur le réseau de champ. • Utiliser des utilitaires de configuration. • Vérifier le fonctionnement des éléments du réseau de champ.

Tester le fonctionnement des programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Transférer des programmes et des données. • Déterminer des variables numériques et analogiques à tester. • Choisir et utiliser des utilitaires de diagnostic. • Interpréter des graphes, des schémas fonctionnels et d'autres modes de représentation des programmes dans un contexte de régulation. • Interpréter des langages de programmation adaptés aux éléments de régulation. • Interpréter des stratégies de contrôle-commande. • Analyser le déroulement des programmes dans un contexte de régulation. • Déterminer des problèmes de fonctionnement. • Appliquer des règles de santé et de sécurité au travail.
Apporter les corrections nécessaires aux programmes.	<ul style="list-style-type: none"> • Interpréter de la documentation technique et des ouvrages de référence. • Déterminer des modifications à apporter aux programmes, aux données et aux correcteurs PID. • Choisir et utiliser des modes de fonctionnement de l'unité de commande. • Utiliser des langages de programmation. • Programmer des éléments de régulation. • Vérifier le fonctionnement du programme. • Sauvegarder des données et des programmes.

10. Vérifier que les expertes et les experts en automatisation ont saisi les visées de la démarche;

11. Préciser les limites du SPI :

- a) Comme cet outil a pour but premier de simuler des procédés industriels qui seront programmés par les étudiantes et les étudiants et non la simulation de phénomènes physiques comme la pression ou le débit, ceux-ci peuvent ne pas être conformes à la réalité;

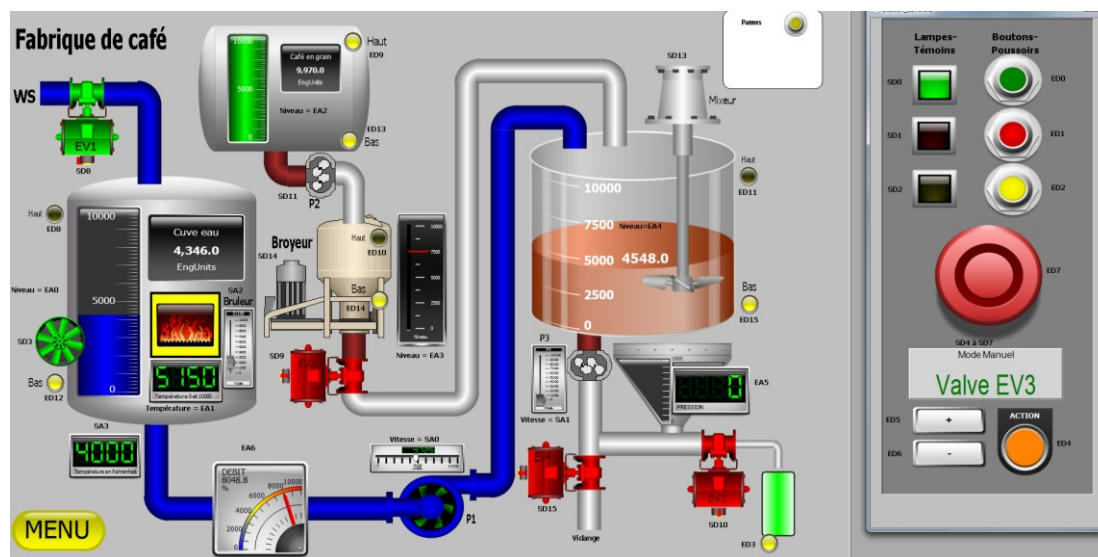
- b) Parmi les conditions non simulées ou non disponibles sur le logiciel, nous pouvons nommer l'ajustement des capteurs et actionneurs ou encore les perturbations intempestives qui peuvent se produire dans des procédés réels. Quand l'étudiante ou l'étudiant sera rendu à ces étapes d'intégration de plusieurs savoirs complexes, elle ou il devra travailler sur des bancs de test réels ou sur de véritables procédés;
- c) Enfin, les composantes de sécurité comme un arrêt d'urgence ne sont pas connectées avec des fils comme dans un vrai procédé, mais seulement programmées.

12. Revoir les questions de l'entrevue clinique de groupe no1 et montrer les modifications effectuées sur le SPI basées sur l'analyse des données recueillies.

Entrevue clinique de groupe n°2

Voici les informations concernant le déroulement de l'entrevue clinique de groupe n°2 :

1. Démarrer le simulateur;
2. Sélectionner le procédé *Café*;



Procédé de la fabrique de café

3. Ce procédé est composé des entrées et des sorties suivantes :

Entrées et sorties composants le procédé de la fabrique de café

Entrées numériques	Entrées analogiques	Sorties numériques	Sorties analogiques
Bouton-poussoir vert : ED0	Niveau du réservoir 1: EA0	Lampe-témoin verte : SD0	Pompe P1 : SA0
Bouton-poussoir rouge : ED1	Température réservoir 1: EA1	Lampe-témoin rouge : SD1	Pompe P3 : SA1
Bouton-poussoir jaune : ED2	Niveau du réservoir 2: EA2	Lampe-témoin jaune : SD2	Brûleur : SA2
Présence bouteille remplissage : ED3	Niveau du broyeur: EA3	Ventilateur réservoir 1 :SD3	Afficheur en Celsius: SA3
Bouton-poussoir manuel : ED4	Niveau du réservoir 3: EA4	Afficheur Bit 0 : SD4	Afficheur en Fahrenheit: SA4
Bouton-poussoir « + » : ED5	Pression remplissage : EA5	Afficheur Bit 1 : SD5	

Bouton-poussoir « - » : ED6	Débit transfert eau : EA6	Afficheur Bit 2 : SD6	
Arrêt d'urgence : ED7		Afficheur Bit 3 : SD7	
Haut niveau du réservoir 1: ED8		Vanne EV1 : SD8	
Haut niveau du réservoir 2 : ED9		Vanne EV2 : SD9	
Haut niveau du broyeur : ED10		Vanne EV3 : SD10	
Haut niveau du réservoir 3 : ED11		Pompe P2 : SD11	
Bas niveau du réservoir 1 : ED12		Libre : SD12	
Bas niveau du réservoir 2 : ED13		Mélangeur : SD13	
Bas niveau du broyeur : ED14		Broyeur : SD14	
Bas niveau du réservoir 3 : ED15		Vanne EV4 : SD15	

4. Mise en contexte :

Un procédé de fabrication de café est présentement en fonction. À l'aide du logiciel *RSLogix 5000* de *Rockwell Automation*, effectuer les tâches suivantes :

A. Tâche 1 : Établir la communication avec l'unité de commande;

1. Ouvrir le programme 243506_programme_etudiant_cafe;
2. Sélectionner l'adresse de l'automate cible avec RSWho;
3. Entrer en ligne avec l'automate et charger le programme si nécessaire;
4. Mettre l'automate en mode Run;

5. Quels modules d'entrées et de sorties ont été configurés dans le programme de l'automate?
- A. _____
 - B. _____
 - C. _____
 - D. _____
6. Quels formats de signaux sont utilisés par les entrées et les sorties?
- A. Entrées numériques : _____
 - B. Sorties numériques : _____
 - C. Entrées analogiques : _____
 - D. Sorties analogiques : _____
7. Quelles sont les valeurs numériques équivalentes aux signaux des entrées et des sorties ?
- A. Entrées numériques : _____
 - B. Sorties numériques : _____
 - C. Entrées analogiques : _____
 - D. Sorties analogiques : _____
8. Quel est le modèle du processeur de l'automate?

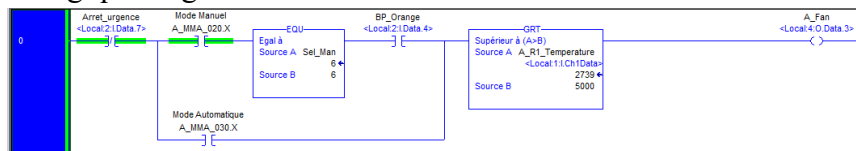
B. Tâche 2 : Tester le fonctionnement des programmes

1. Déterminer le langage de programmation utilisé pour programmer la séquence de remplissage du réservoir : _____
2. Déterminer le langage de programmation utilisé pour programmer les sorties : _____
3. Quelle est l'utilité des différents graficets?
 - A. _____
 - B. _____
 - C. _____
 - D. _____
 - E. _____
 - F. _____
 - G. _____

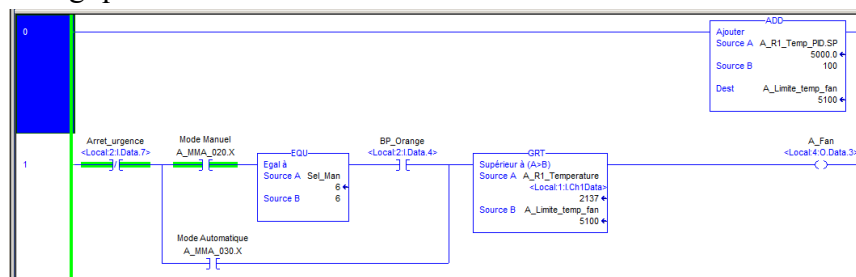
C. Tâche 3 : Apporter les corrections nécessaires aux programmes :

1. Aller dans les sorties du réservoir 1;
2. Quelles sont les conditions pour activer le ventilateur SD3?
3. _____
4. En restant en ligne, mettre de l'eau dans le réservoir 1 jusqu'à ce que le bas niveau détecte du produit;
5. Modifier les conditions pour activer le ventilateur lorsque la température dépasse un degré Celsius au-dessus de la consigne du bloc PID;

Logique originale :



Logique modifiée :



6. Vérifier le fonctionnement de la modification en faisant chauffer l'eau en mode manuel;
7. Entrer un commentaire dans l'échelon pour expliquer la nouvelle logique d'activation du ventilateur;
8. Aller au bloc PID du contrôle de température et changer le gain proportionnel (Kp) pour la valeur 10;
9. Ouvrir le graphique Temperature_Reservoir dans l'outil Tendances de RSLogix 5000 et cliquer sur exécuter;
10. Que se passe-t-il au niveau de la boucle de température et pourquoi?
11. _____
12. Sauvegarder le programme sous le format suivant : RemplissageNomPrenomV(mettre la date dans le format aaaammjj).

D. Questions qui suivent la 2e manipulation

Dans cette deuxième entrevue clinique de groupe, la question suivante est ajoutée aux questions ci-dessous : Après l'explication des modifications effectuées sur le prototype initial n°2 en lien avec cette question, avez-vous d'autres commentaires à formuler?

1. Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?
2. Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps?
3. Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une seule page graphique?
4. Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?
5. Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer, à faire fonctionner?
6. Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?
7. Est-ce que le SPI est facile d'utilisation, est-il intuitif?
8. Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI sont bien identifiés?
9. Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé autant au niveau des couleurs que de la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?
10. Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? C'est-à-dire, est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?
11. Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires?
12. Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?
13. Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence *Programmer des unités de commande*?

14. Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants?
15. Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?
16. Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures?
 - Par exemple, est-ce qu'au cours d'une activité avec le SPI et avant de passer à la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation?
17. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches qu'il a déjà exécutées dans des d'autres cours, mais dans des contextes différents?
18. Est-ce que pour programmer les procédés du SPI, les étudiantes et les étudiants utilisent les mêmes outils que les spécialistes de l'industrie?
19. En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence *Programmer des unités de commande*, est-ce qu'il y en a qui ne seraient pas atteignables à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?

ANNEXE K

GRILLE D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION DES DONNÉES PROVENANT DE L'ENTREVUE CLINIQUE DE GROUPE N° 1 ET BASÉE SUR LE CANEVAS INVESTIGATIF

Critères de conception	Questions des entrevues cliniques	Réponses et nouvelles questions provenant de l'entrevue clinique de groupe n°1	Réponses ou action du chercheur à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°1
Est-ce que la lisibilité des écrans est correcte?	1. Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?	<p>A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.</p> <p>B) Peut-on voir le procédé et un graphique représentant les valeurs analysées en même temps?</p> <p>C) Afin de diminuer physiquement le simulateur pourrait-on utiliser un automate virtuel comme SoftLogix au lieu d'un vrai automate?</p> <p>D) Peut-on redessiner les bouteilles et changer leurs couleurs pour qu'elles représentent de vraies bouteilles?</p> <p>E) Peut-on ajouter des animations pour varier les valeurs minimum et maximum des entrées analogiques dans le but de pratiquer les étudiantes et les étudiants à faire de la mise à l'échelle?</p>	<p>A) N/A</p> <p>B) Création de symboles pour voir les valeurs des boucles de régulation; L'étudiante ou l'étudiant peut créer un graphe à l'aide du logiciel de programmation d'automate. (Modification n°1 sur la figure 18)</p> <p>C) Un automate virtuel a été utilisé.</p> <p>D) Les bouteilles ont été redessinées. (Modification 3 sur la figure 18)</p> <p>E) Des afficheurs ont été ajoutés. Les enseignantes et les enseignants pourront demander d'y afficher différentes valeurs, dont celles provenant de mises à l'échelle. (Modification 4 sur la figure 18)</p>

		F) Peut-on mettre un fond jaune sous l'arrêt d'urgence comme le demande la norme de sécurité CSA-Z432?	F) Un fond jaune a été ajouté pour s'arrimer avec la norme de sécurité CSA Z-432. (Modification 5 sur la figure 18)
Est-ce que la densité de l'information est correcte ?	<p>2. Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps?</p> <p>3. Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une page graphique en même temps?</p>	<p>A) Il peut y en avoir beaucoup, mais on n'a pas le choix quand on travaille avec ce genre de système;</p> <p>B) On bâtit la programmation par étape alors il n'y a pas de problème;</p> <p>C) C'est ce qu'on retrouve dans l'industrie;</p> <p>D) Les procédés semblent un peu rapides : peut-on mettre 2 vitesses de fonctionnement?</p> <p>E) Est-ce que la simulation prend en compte les vraies lois de la physique?</p>	<p>A) N/A</p> <p>B) N/A</p> <p>C) N/A</p> <p>D) Différentes vitesses de réaction de procédé ont été programmées. Par exemple, la vitesse de chauffe d'un four est beaucoup plus longue que la vitesse de montée d'un débit dans un conduit. Les débutants pourraient donc commencer avec le procédé du four.</p> <p>E) Une enseignante ou un enseignant de physique travaille activement avec une enseignante ou un enseignant de TEI pour améliorer la simulation des phénomènes physiques pour qu'ils soient plus près de réalité.</p>

Est-ce qu'il y a une utilisation harmonieuse des polices de caractères?	4. Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?	A) Quelle est la raison pour avoir différentes polices de caractère sur la page principale?	A) Dans le prototype initial n°2, nous avons mis une seule police de caractère sur la page principale, mais certaines polices dont celles des boutons-poussoirs ne sont pas modifiables. (Modification 6 sur la figure 18)
Est-ce que l'environnement du SPI possède une bonne malléabilité?	5. Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer, à faire fonctionner?	A) À essayer lors de la 2e entrevue; B) Qu'est-ce qui compose le SPI?	A) N/A B) Une présentation sur le montage du SPI sera effectuée lors de la 2e entrevue clinique de groupe.
Est-ce que le SPI permet de garder une trace du travail?	6. Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?	A) Est-ce que les courbes des données recueillies peuvent être conservées? B) Peut-on enregistrer une partie de la manipulation? C) C'est bon, car on peut vérifier le programme de l'étudiant à l'aide du SPI.	A) Oui, à l'aide du logiciel de programmation. Ceci ne fait pas partie du simulateur. B) Pas directement avec le simulateur. Ceci ne fait pas partie du simulateur et n'est pas possible avec les logiciels sélectionnés. C) N/A

Est-ce que le SPI est facile à piloter?	<p>7. Est-ce que le SPI est facile d'utilisation, est-il intuitif?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Par exemple, lors d'un changement d'activité, est-ce que le passage d'un procédé à un autre se fait facilement? 	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative;	A) N/A
Est-ce que le rôle des menus et des boutons est clair?	8. Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI sont bien identifiés?	<p>A) Pourquoi y a-t-il des boutons-poussoirs ronds et carrés?</p> <p>B) Est-ce que ça représente des niveaux de difficulté?</p> <p>C) Est-ce que ça porterait moins à confusion si les boutons-poussoirs du menu principal ont le même format?</p> <p>D) Peut-on augmenter le contraste des caractères sur la station de contrôle qui sont foncés sur gris?</p>	<p>A) Les formats des boutons-poussoirs ont été standardisés. Les couleurs représentent le niveau de difficulté des procédés. Ils ont été classés en ordre de difficulté. (Modification 7 sur la figure 19)</p> <p>B) N/A</p> <p>C) N/A</p> <p>D) Le contraste des caractères a été changé. (Modification 8 sur la figure 18)</p>

Est-ce que la représentation dynamique et visuelle du résultat est correcte?	9. Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé autant au niveau des couleurs que de la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?	<p>A) Pourrait-on améliorer les animations pour la température, car c'est moins évident?</p> <p>B) Est-ce possible de changer de couleur du réservoir 1 lorsque la température change?</p> <p>C) Pourquoi y a-t-il deux indicateurs de pression?</p>	<p>A) Les animations liées au contrôle de température ont été améliorées. (Modification 9 sur la figure 18)</p> <p>B) N/A</p> <p>C) Pour rendre le concept de pression plus concret pour les étudiantes et les étudiants.</p>
Est-ce que la qualité, la pertinence, la facilité de décodage de la représentation du résultat sont correctes?	10. Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? Est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?	A) Est-ce possible de ralentir un des procédés?	A) La vitesse de réaction des procédés a été changée pour en avoir un rapide et un autre plus lent.

Est-ce que les limites de l'environnement informatique sont clairement précisées?	<p>11. Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Est-ce que l'outil ou le document qui décrit l'activité précise les actions, ajustements ou autres qu'un technicien en travaux pratiques aurait à faire sur un vrai procédé, mais pas sur le SPI? 	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative;	A) N/A
Est-ce que le SPI a été accompagné de documents clairs? D'éléments favorables à la motivation et à son maintien?	12. Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?	<p>A) Oui, mais plusieurs compétences vues dans les cours précédents ne sont pas utilisées alors qu'elles le sont avec un banc de test réel. Quelles autres compétences du DEC peut-on mettre en œuvre avec le SPI?</p> <p>B) Est-ce possible de combiner le</p>	<p>A) Malgré que ce soit une question intéressante pour le département TEI, cette question n'aide pas à l'atteinte des objectifs de la recherche.</p> <p>B) Ceci est possible sous diverses</p>

		<p>simulateur avec des bancs de test?</p> <p>C) Avons-nous comparé le cheminement d'étudiantes et d'étudiants qui ont travaillé sur les bancs de test réels et d'autres étudiantes et d'autres étudiants qui ont travaillé seulement sur le simulateur? Est-ce que l'intérêt est semblable?</p> <p>D) Devrions-nous limiter l'utilisation du SPI aux 3 dernières sessions pour que les étudiantes et les étudiants aient eu le temps de toucher à de vrais procédés?</p> <p>E) Le simulateur est très intéressant quand on veut travailler avec un procédé qui n'est pas possible d'avoir en version réelle au Cégep comme un procédé complexe, dangereux ou un qui demande beaucoup d'énergie.</p>	<p>formes comme celle où l'étudiant développe son programme avec le simulateur et le teste ensuite avec le banc de test réel. Le choix de la combinaison simulateur/banc de test sera abordé par celui qui développera les activités d'apprentissage;</p> <p>C) Ces questions pourraient mener vers une autre recherche en pédagogie.</p> <p>D) À discuter lors d'une rencontre de département.</p> <p>E) N/A</p>
--	--	---	---

Est-ce que le SPI permet d'aider à l'acquisition de la compétence Programmer des unités de commande?	13. Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence Programmer des unités de commande?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative; B) L'utilisation du simulateur peut accélérer le processus d'acquisition de cette compétence dans un contexte de formation en ligne; C) Ne devrions-nous pas en ajouter de plus bas niveau pour aider les débutants?	A) N/A B) N/A C) Il y a présentement quatre procédés sur dix qui sont pour débutants;
Est-ce que le SPI permet aux étudiantes et aux étudiants d'exécuter des tâches significatives, complexes, complètes et globales?	14. Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants? 15. Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?	A) Les réponses des expertes et des experts en automatisation à ces deux questions sont affirmatives; B) Les étudiantes et les étudiants peuvent réessayer leurs tests autant de fois qu'ils veulent.	A) N/A B) N/A
Est-ce que le SPI permet de faire appel aux connaissances antérieures des étudiantes et des étudiants?	16. Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures? • Par exemple, est-ce qu'au cours d'une	A) Oui, grâce au 4-20mA; B) Oui, mais ils n'effectueront pas un retour sur toutes leurs connaissances antérieures, car les procédés ne sont pas réels; Pourrait-on brancher des transmetteurs, des capteurs et des actionneurs au SPI pour mixer le virtuel et le réel?	A) N/A B) N/A

	<p>activité avec le SPI et avant de passer à la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation?</p>	<p>C) Peut-on faire des liens avec les I/O des procédés et des I/O réels?</p>	<p>C) Comme le simulateur est équipé de vraies entrées et de vraies sorties, il peut être incorporé dans n'importe quel procédé réel.</p>
17. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches que l'étudiante ou l'étudiant a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?		<p>D) Oui, car on peut mettre la programmation de boucles de régulation dans un contexte plus complexe;</p>	<p>D) N/A</p>

Est-ce que le SPI permet l'exécution de tâches dans un contexte de réalisation près de la réalité.	18. Est-ce que pour programmer les procédés du SPI, les étudiantes et les étudiants utilisent les mêmes outils que les spécialistes de l'industrie?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative;	A) N/A
Est-ce que le SPI aide à l'acquisition des éléments de la compétence Programmer des unités de commande?	B) En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence Programmer des unités de commande, est-ce qu'il y en a qui ne seraient pas atteignables à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?	<p>A) Il semble qu'on peut couvrir presque toute la compétence.</p> <p>B) Est-ce que pour l'élément de compétence lié au réseau de champ, on pourrait développer plusieurs procédés qui pourraient se transférer des données entre eux?</p> <p>C) Pouvons-nous appliquer des règles de sécurité avec le SPI?</p>	<p>A) N/A</p> <p>B) Oui</p> <p>C) Cet élément de compétence n'est pas atteignable complètement avec le simulateur. Évidemment les étudiantes et les étudiants n'ont pas besoin des EPI pour faire fonctionner des procédés virtuels. Au CRLT, la compétence Programmer des unités de commande est couverte par plusieurs cours alors l'objectif lié à la sécurité est déjà atteint dans les cours de programmation d'un automate et robot et sécurité des machines.</p>

Questions et commentaires des experts provenant du carnet de notes.		Aucun commentaire ou question durant l'essai du SPI au cours de l'entrevue clinique de groupe n°1.	
---	--	--	--

ANNEXE L

**GRILLE D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION DES DONNÉES PROVENANT DE L'ENTREVUE CLINIQUE DE
GROUPE N° 2 ET BASÉE SUR LE CANEVAS INVESTIGATIF**

Critères de conception	Questions des entrevues cliniques	Réponses et nouvelles questions provenant de l'entrevue clinique de groupe n°2	Réponses ou action du chercheur à la suite de l'entrevue clinique de groupe n°2
Est-ce que la lisibilité des écrans est correcte?	1. Est-ce que les représentations graphiques des différents éléments du procédé sont faciles à comprendre?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative. B) Le contraste entre les caractères et la couleur de fond sur la station de contrôle pourrait être amélioré. C) Certains caractères sur des animations comme la vitesse de la pompe 1 sont trop petits.	A) N/A B) Amélioration du contraste entre les caractères et la couleur de fond sur la station de contrôle. C) Augmentation de la grosseur des caractères sur des animations comme la vitesse de la pompe 1.
Est-ce que la densité de l'information est correcte?	2. Est-ce qu'il y a trop d'animations en même temps? 3. Est-ce qu'il y a trop d'informations sur une page graphique en même temps?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est négative.	A) N/A

Est-ce qu'il y a une utilisation harmonieuse des polices de caractères?	4. Est-ce qu'il y a trop de polices de caractères différentes?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est négative.	A) N/A
Est-ce que l'environnement du SPI possède une bonne malléabilité?	5. Est-ce que le SPI est facile à mettre en place, à préparer, à faire fonctionner?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A
Est-ce que le SPI permet de garder une trace du travail?	6. Est-ce que la manipulation montre qu'on peut garder une trace pour évaluer un travail?	A) À l'aide du logiciel de programmation que les étudiantes et les étudiants utilisent et le SPI, les expertes et des experts sont d'accord qu'il est possible de garder une trace.	A) N/A
Est-ce que le SPI est facile à piloter?	7. Est-ce que le SPI est facile d'utilisation, est-il intuitif? <ul style="list-style-type: none"> • Par exemple, lors d'un changement d'activité, est-ce que le passage d'un procédé à un autre se fait facilement? 	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A

Est-ce le rôle des menus et des boutons est clair?	8. Est-ce que les boutons et les menus qui permettent de naviguer dans le logiciel du SPI sont bien identifiés?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative. B) Est-il possible d'identifier les boutons-poussoirs et les lampes-témoins de la station de contrôle?	A) N/A B) Identification des boutons-poussoirs et des lampes-témoins de la station de contrôle.
Est-ce que la représentation dynamique et visuelle du résultat est correcte?	9. Est-ce que les animations sont représentatives d'un vrai procédé autant au niveau des couleurs que de la reproduction d'un phénomène physique comme l'augmentation de la pression dans un conduit?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A
Est-ce que la qualité, la pertinence, la facilité de décodage de la représentation du résultat sont correctes?	10. Lorsque l'étudiante ou l'étudiant programme une logique dans l'automate, est-ce que le résultat est cohérent? Est-ce que le résultat est comme si le programme contrôlait un vrai procédé?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A

Est-ce que les limites de l'environnement informatique sont clairement précisées?	<p>11. Lors de la manipulation, est-ce que les limites de l'environnement informatique vous ont semblé claires?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Est-ce que l'outil ou le document qui décrit l'activité précise les actions, ajustements ou autres qu'un technicien en travaux pratiques aurait à faire sur un vrai procédé, mais pas sur le SPI? 	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A
Est-ce que le SPI a été accompagné de documents clairs? D'éléments favorables à la motivation et à son maintien?	12. Est-ce que différentes activités peuvent être développées avec le SPI? Est-ce que le document qui accompagne donne les détails des tâches à accomplir?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A

Est-ce que le SPI permet d'aider à l'acquisition de la compétence Programmer des unités de commande?	13. Est-ce que la complexité des procédés du SPI est de bon niveau pour les cours qui couvrent la compétence <i>Programmer des unités de commande</i> ?	1. La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative. 2. On pourrait ajouter les procédés des feux de circulation et des autres stations Festo qui n'ont été simulées.	A) N/A B) N/A
Est-ce que le SPI permet aux étudiantes et aux étudiants d'exécuter des tâches significatives, complexes, complètes et globales?	14. Est-ce que les tâches à faire ont du sens pour les étudiantes et les étudiants? 15. Est-ce que les étudiantes et les étudiants auront à appliquer des méthodes d'analyse ou encore la métacognition?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A
Est-ce que le SPI permet de faire appel aux connaissances antérieures des étudiantes et des étudiants?	16. Est-ce que le SPI peut aider l'étudiante ou l'étudiant à effectuer un retour sur ses connaissances antérieures? • Par exemple, est-ce qu'au cours d'une activité avec le SPI et avant de passer à	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative. B) On peut mélanger des procédés réels et des procédés simulés.	A) N/A B) N/A

	<p>la programmation de séquences dans l'automate, l'étudiante ou l'étudiant peut être amené à tester les signaux électriques des éléments de mesure simulés par le SPI, à contrôler les éléments correcteurs comme des vannes de régulation?</p>		
	17. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches que l'étudiante ou l'étudiant a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?	C) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	C) N/A
Est-ce que le SPI permet l'exécution de tâches dans un contexte de réalisation près de la réalité.	18. Est-ce que le SPI permet d'effectuer des tâches qu'il a déjà exécutées dans d'autres cours, mais dans des contextes différents?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A

Est-ce que le SPI aide à l'acquisition des éléments de la compétence Programmer des unités de commande?	19. En relisant les objectifs d'apprentissage liés à la compétence Programmer des unités de commande, est-ce qu'il y en a qui ne seraient pas atteignables à l'aide du SPI et d'une activité pédagogique adaptée?	A) La réponse des expertes et des experts en automatisation est affirmative.	A) N/A
Questions et commentaires des experts provenant du carnet de notes.		<p>Commentaires ou questions durant l'essai du SPI au cours de l'entrevue clinique de groupe n°2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il serait intéressant d'ajouter une fenêtre d'aide pour orienter les étudiantes débutantes et les étudiants débutants avec le SPI. • Y a-t-il d'autres symboles représentant un brûleur industriel qu'un feu de foyer? • Est-ce possible de voir les variations des valeurs importantes du procédé sur un graphe? 	<ul style="list-style-type: none"> • Des fenêtres d'aide ont été ajoutées. • Le symbole du brûleur a été remplacé par un autre plus réaliste. • Des fenêtres avec des graphes montrant les variations des valeurs importantes ont été ajoutées.